
**Aufgabenbezogene myoelektrische
Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur bei
jungen Frauen im Vergleich zu jungen Männern**

Dissertation

**zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)**

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der Friedrich-
Schiller-Universität
Jena**

von Philipp Steinberg

geboren am 27.01.1987

in Merseburg

Tag der Verteidigung:

04.02.2020

Gutachter:

PD Dr. Nikolaus-Peter Schumann, Jena

Prof. Dr. Orlando Guntinas-Lichius, Jena

Prof. Dr. Stefan Kopp, Frankfurt am Main

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	<i>analysis of variance</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
EKG	<i>Elektrokardiogramm</i>
EMG.....	<i>Elektromyogramm/Elektromyographie</i>
ENG	<i>Elektroneurographie</i>
MRT	<i>Magnetresonanztomographie</i>
MW	<i>Mittelwert</i>
oEMG.....	<i>Oberflächen Elektromyographie</i>
SD	<i>Standardabweichung</i>
TMS	<i>Transkranielle Magnetstimulation</i>

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Zusammenfassung	1
1 Einleitung	3
1.1 Grundlagen	5
2 Ziele der Studie	15
3 Material und Methoden	16
3.1 Probanden	16
3.2 EMG-Registrierung und Vorbereitung der Probanden.....	17
3.3 Elektrodenanordnung	18
3.4 Untersuchungsablauf	21
3.5 EMG-Analyse.....	26
3.6 Statistische Analyse.....	27
3.7 Videoanalyse	28
4 Ergebnisse	29
4.1 Mittlere EMG-Amplituden der weiblichen Probandengruppe während der Artikulation und mimischer Bewegungsaufgaben	29
4.2 EMG-Aktivitätsprofile der weiblichen und männlichen Probandengruppe	37
4.2.1 Analyse der EMG-Aktivitätsprofile der weiblichen Probandengruppe	37
4.2.2 Prozentuale Unterschiede der mittleren EMG-Amplituden zwischen rechter und linker Gesichtsseite bei den weiblichen Probanden	42
4.2.3 EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen weiblichen und männlichen Probanden	46
4.3 Multivariate Varianzanalyse.....	65
4.3.1 Multivariate Varianzanalyse der EMG-Aktivitätswerte der weiblichen Probandengruppe	65
4.3.2 Multivariate Varianzanalyse mit dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht	66
4.4 Videoanalyse	68
5 Diskussion.....	71

5.1	Myoelektrische Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur junger Frauen	71
5.2	EMG-Aktivitätsmuster (-profile) der mimischen Muskulatur von jungen Frauen im Vergleich zu jungen Männern	79
6	Schlussfolgerung	87
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der Elektrodenanordnung über den untersuchten mimischen Muskeln	18
Abbildung 2: Übersicht aller mimischen Bewegungsaufgaben (T1-T29)	25
Abbildung 3: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T1 Artikulation des Vokals A für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	50
Abbildung 4: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T2 Artikulation des Vokals Ä für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	50
Abbildung 5: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T3 Artikulation des Vokals E für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	51
Abbildung 6: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T4 Artikulation des Vokals I für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	51
Abbildung 7: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T5 Artikulation des Vokals O für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	52
Abbildung 8: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T6 Artikulation des Vokals U für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	52
Abbildung 9: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T7 Aufeinanderpressen der Lippen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	53
Abbildung 10: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T8 Herabziehen der Mundwinkel für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	53
Abbildung 11: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T9 Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	54
Abbildung 12: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T10 Herabziehen der Unterlippe für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	54
Abbildung 13: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T11 Verschieben der Unterlippe für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	55
Abbildung 14: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T12 Hochziehen der Oberlippe für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	55
Abbildung 15: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T13 Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	56
Abbildung 16: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T14 Spitzen der Lippen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	56
Abbildung 17: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T15 Aufblasen der Wangen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	57
Abbildung 18: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T16 Einziehen der Wangen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	57
Abbildung 19: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T17 Pfeifen in konstanter Tonhöhe für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	58
Abbildung 20: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T18 Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	58
Abbildung 21: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T19 lippengebremstes Ausatmen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	59
Abbildung 22: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T20 maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	59
Abbildung 23: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T21 Rümpfen der Nase für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	60

Abbildung 24: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T22 Hochziehen des rechten Mundwinkels für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25).....	60
Abbildung 25: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T23 Hochziehen des linken Mundwinkels für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25).....	61
Abbildung 26: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T24 Hochziehen der Augenbrauen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25).....	61
Abbildung 27: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T25 Zusammenziehen der Augenbrauen für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25).....	62
Abbildung 28: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T26 kraftvolles Verschließen der Augenlider für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	62
Abbildung 29: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T27 Blinzeln für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)	63
Abbildung 30: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T28 kraftvolles Verschließen des rechten Augenlids für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25).....	63
Abbildung 31: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T29 kraftvolles Verschließen des linken Augenlids für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25).....	64
Abbildung 32: Vergleich unterschiedlicher Ausführungen: Herabziehen der Mundwinkel (T8) links nur befriedigende Ausführung der Übung, rechts sehr gute Ausführung der Übung	70
Abbildung 33: Vergleich unterschiedlicher Ausführungen: Übung Hochziehen Mundwinkel rechts (T22) und Hochziehen Mundwinkel links (T23) bei der gleichen Probandin.....	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Probandenkollektiv der weiblichen Gruppe	16
Tabelle 2: Übersicht Probandenkollektiv der männlichen Gruppe	17
Tabelle 3: Übersicht aller mimischen Bewegungsaufgaben	22
Tabelle 4: Normalisierte, mittlere EMG-Amplituden (Median, μ V) für die rechte und linke Gesichtsseite der weiblichen Gruppe. Der kleinere Amplitudenwert der seitensymmetrisch angeordneten Elektroden ist jeweils dargestellt. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind fett markiert, der höchste Wert ist <u>unterstrichen</u> . Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	31
Tabelle 5: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μ V) für die rechte Gesichtsseite der weiblichen Gruppe . Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind fett markiert, der höchste Wert ist <u>unterstrichen</u> . Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	32
Tabelle 6: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μ V) für die linke Gesichtsseite der weiblichen Gruppe . Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind fett markiert, der höchste Wert ist <u>unterstrichen</u> . Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	33
Tabelle 7: Normalisierte, mittlere EMG-Amplituden (Median, μ V) für die rechte und linke Gesichtsseite der männlichen Gruppe . Der kleinere Amplitudenwert der seitensymmetrisch angeordneten Elektroden ist jeweils dargestellt. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind fett markiert, der höchste Wert ist <u>unterstrichen</u> . Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	34
Tabelle 8: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μ V) für die rechte Gesichtsseite der männlichen Gruppe . Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind fett markiert, der höchste Wert ist <u>unterstrichen</u> . Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	35
Tabelle 9: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μ V) für die linke Gesichtsseite der männlichen Gruppe . Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind fett markiert, der höchste Wert ist <u>unterstrichen</u> . Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	36
Tabelle 10: Prozentuale, individuelle Seitenunterschiede der weiblichen Probanden (n=25, P1-P25) bezogen auf die mittleren EMG-Amplituden aller symmetrischen Testaufgaben (T1-T21; T24-T27) für jede Elektrodenposition (1-44).	44
Tabelle 11: Prozentuale individuelle Seitenunterschiede (P1-P25) bezogen auf die mittleren EMG-Amplituden aller symmetrischen Testaufgaben (T1-T21; T24-T27). Negative Werte zeigen eine höhere prozentuale EMG-Aktivität der linken Gesichtsseite an, positive Werte eine höhere prozentuale EMG-Aktivität der rechten Gesichtsseite. Alle Werte über 30% Abweichung sind fett markiert. Die Kopfzeile benennt die mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).	45
Tabelle 12: Übersicht über Unterschiede der mittleren EMG-Amplitude (Median) zwischen weiblicher und männlicher Probandengruppe (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) für alle motorischen Aufgaben (T1-T29) sowie Elektroden (E 1-44).	49
Tabelle 13: Prüfung auf Unterschiede zwischen den motorischen Aufgaben, rechter und linker Gesichtsseite sowie superioren und inferioren, medialen und lateralen Elektrodenpositionen verschiedener mimischer Muskeln der weiblichen Gruppe (ANOVA) auf Basis normalisierter mittlerer EMG-Amplituden.	66

Tabelle 14: Übersicht über den Einfluss des Geschlechts (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht) auf das EMG-Aktivitätsprofil (einzelner Muskeln), die motorischen Aufgaben, die Seitenunterschiede sowie auf die mediale/laterale und superiore/inferiore Elektrodenorientierung	67
Tabelle 15: Bewertungen aller Videoaufzeichnungen der motorischen Aufgaben (T1-T29). Die Anzahl der aufgezeichneten mimischen Bewegungen ist in Klammern angegeben.	69

Zusammenfassung

Zur mimischen Muskulatur des menschlichen Körpers zählen 26 Muskeln, die im Vergleich zur Skelettmuskulatur einzigartig sind. Denn es gibt keinen knöchernen Ansatz und keine Muskelfaszie. Nur über die Verbindung mit der Haut ist es möglich mimische Bewegungen durchzuführen und somit nonverbal zu kommunizieren und Emotionen zu zeigen. Auch für die Nahrungsaufnahme ist die mimische Muskulatur essenziell. Die Innervation erfolgt ausschließlich durch den N. facialis, dem siebten Hirnnerven.

Eine Erkrankung, die mit einem Funktionsverlust der mimischen Muskulatur einhergeht, ist die periphere Fazialisparese (4-70 Fälle pro 100.000 Einwohner/Jahr (De Diego-Sastre et al. 2005, Morales et al. 2013)). Die klinische Diagnostik der peripheren Fazialisparese umfasst eine Reihe an Untersuchungen, welche allein oft nicht zum Ziel führen. Häufig ist die Kombination mehrerer Untersuchungsmethoden notwendig.

Die Nadel-Elektromyographie ist derzeit der Goldstandard hinsichtlich der Beurteilung des Schweregrades und der Prognose der Schädigung, - auch in Hinblick auf eine operative Rekonstruktion des Nerven. Darüber hinaus erlaubt die Nadel-Elektromyographie Verlaufskontrollen (Sittel und Stennert 2001, Jungehülsing et al. 2001).

Eine Kennzeichnung der komplexen Koordinationsprozesse der gesamten mimischen Muskeln ist damit jedoch nicht zu erreichen. Zudem ist es eine invasive Methode und das Applizieren der Nadelelektroden kann schmerzhaft sein. Neuere diagnostische Verfahren werden zur Beurteilung der mimischen Muskulatur benötigt, gerade um die Verlaufskontrolle und die Indikationsstellung zur operativen Versorgung zu verbessern und zu vereinfachen (Finkensieper et al. 2012).

Eine bereits durchgeführte Studie an einem jungen männlichen Probandenkollektiv zeigte, dass durch ein neu entwickeltes Multikanal-Oberflächen-EMG-Verfahren die Registrierung der myoelektrischen Aktivitätsmuster der nahezu gesamten mimischen Muskulatur möglich ist (Schumann et al. 2010).

Studien die EMG-Aktivität der mimischen Muskulatur in ihrer Gesamtheit auf mögliche Geschlechterunterschiede untersucht haben, fehlen bisher.

Ziel dieser Arbeit war es daher zu untersuchen, ob sich die myoelektrischen Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur zwischen Frauen und Männer unterscheiden und im Weiteren, ob für Frauen und Männer separate EMG-Referenzwerte erforderlich sind, oder ein gemeinsamer Referenzwertpool gebildet werden darf.

In der vorliegenden Studie wurden 25 junge Probandinnen (Altersdurchschnitt 23.3 Jahre, SD +/- 2.3) mittels 44-Kanal-Oberflächen-EMG-Technik untersucht (monopolar, 10-700 Hz, 3000 Samples/s, Auflösung 2,44 μ V/bit, Schumann et al. 2010), während sie mit der mimischen Muskulatur 29 vorgegebene motorische Bewegungsaufgaben ausführten.

Die 44 Oberflächenelektroden wurden über folgenden Muskeln beidseits symmetrisch appliziert: *M. orbicularis oculi*, *M. frontalis*, *M. levator labii*, *M. zygomaticus*, *M. orbicularis oris*, *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii* und *M. mentalis*.

Die registrierten Elektromyogramme wurden auf Artefakte geprüft, mittels Leistungsspektralanalyse quantifiziert und anschließend normalisiert.

Die normalisierten mittleren EMG-Amplituden wurden als EMG-Aktivitätsprofile in Boxplots symmetrisch zur Gesichtsmittellinie abgebildet. Die EMG-Aktivitätsprofile der weiblichen Probanden wurden anschließend mit denen der zuvor untersuchten männlichen Probandengruppe (MW 26 Jahre, SD \pm 3,4) verglichen.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigten, dass die myoelektrischen Aktivitätsmuster der vom N. facialis innervierten Muskulatur zwischen Frauen und Männern ähnlich sind. Hinsichtlich der mittleren EMG-Amplitude wurden jedoch bei 10 von 29 Aufgaben für einzelne Muskelgruppen Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt (Mann-Whitney-U-Test). Darüber hinaus wurde mittels multivariater Varianzanalyse (Zwischensubjektfaktor Geschlecht) ein Einfluss des Geschlechtes auf das EMG-Aktivitätsprofil des *M. frontalis* nachgewiesen. Systematische Seitenunterschiede zwischen der weiblichen und männlichen Probandengruppe wurden nicht festgestellt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass geschlechterspezifische Unterschiede der EMG-Aktivität der mimischen Muskulatur existieren. Jedoch gibt es für jede anatomische Gesichtsregion auch mimische Bewegungen für die keine Unterschiede nachgewiesen werden konnten, so dass nicht immer eine Unterscheidung der Referenzwertgruppen nach Geschlecht notwendig wird.

Der zukunftsweisendere Weg ist jedoch die Zugrundelegung geschlechterspezifische Referenzwerte. Dadurch wird der Variabilitätsanteil „Geschlecht“ eliminiert. Dies wiederum würde eine statistisch schärfere Trennung zwischen den EMGs Gesunder und denen von Fazialisparese-Patienten ermöglichen. Nach Durchführung dieser Studie liegen nun auch Referenzwerte für ein junges, gesundes weibliches Probandenkollektiv vor.

1 Einleitung

Schon 1962 schrieb Basmajian: „Die systematische Elektromyographie der Fazialismuskulatur wurde vernachlässigt, obwohl die Elektrophysiologen permanent mit dem Thema der Fazialislähmung konfrontiert waren. Meines Wissens gibt es keine Studie in diesem Gebiet, möglicherweise aufgrund der oberflächlichen Lage der Muskulatur und ihrer scheinbar offensichtlichen Funktionsweise. Diese Muskeln sind nahezu unberührtes Gebiet der elektromyographischen Untersuchung“ (Basmajian 1962).

Heutzutage ist die Elektromyographie der Fazialismuskulatur sicherlich nicht mehr vernachlässigt, jedoch sind trotz der täglichen Anwendung in der Forschung und in der klinischen Diagnostik der peripheren Fazialisparese weiterhin noch nicht alle Einflussfaktoren auf die EMG-Messung ausreichend untersucht.

Die periphere Fazialisparese ist eine häufige Erkrankung von der jährlich 4-70 pro 100.000 Einwohner betroffen sind (Hauser et al. 1971, Martyn und Hughes 1997, Marson und Salinas 2000, De Diego-Sastre et al. 2005, Morales et al. 2013). Dabei ist das Verhältnis zwischen Frauen und Männer gleich (Holland und Weiner 2004). Es handelt sich um ein Akutereignis durch eine Schädigung des siebten Hirnnervs kaudal des Ncl. nervi facialis, welches mit einer Lähmung der ipsilateralen Gesichtsseite einhergeht. Neben der funktionellen Einschränkung der Gesichtsmuskulatur besteht auch eine hohe psychosoziale Belastung aufgrund des pathognomonischen Erscheinungsbildes (Kiese-Himmel et al. 1993, Bradbury et al. 2006).

Im klinischen Alltag sind eine exakte Untersuchung des Patienten, eine an die Anamnese angepasste Labordiagnostik sowie radiologisch bildgebende Verfahren unerlässlich.

Es werden standardisierte Bewertungssysteme genutzt, um den Schweregrad der Läsion einzuschätzen (z.B. House- Brackmann Test (HBS) oder Sunnybrook- Test (SFGS)). Trotz ihrer guten Durchführbarkeit in der Praxis qualifizieren sie den Ort der Schädigung nur ungenau und die Anwendung ist nicht objektiv (Fattah et al. 2014).

Als bildgebende Diagnostik kommt die Sonographie, die Computertomographie (CT), sowie die Magnetresonanztomographie (MRT) zum Einsatz.

Zu den elektrodiagnostischen Untersuchungsmethoden zählen die Elektroneurographie (ENG), die Transkranielle Magnetstimulation (TMS) und die Elektromyographie (EMG). Die ENG erlaubt es Summenaktionspotentiale des *M. nasalis* nach maximaler

transkutaner Stimulation des Nerven im Bereich des Mastoids abzuleiten. Bei der TMS wird ebenso ein supramaximaler Reiz über dem Mastoid durch Magnetfeldstimulation gesetzt.

Die Elektromyographie misst durch in den Muskel eingebrachte Nadelelektroden Potentialschwankungen einzelner motorischer Einheiten. Sie ermöglicht somit den Nachweis des Schweregrades der Erkrankung und erlaubt eine Prognose der Schädigung des Nervs (Sittel und Stennert 2001, Jungehülsing et al. 2001). Durch die intramuskulär eingebrachten feinen Nadelelektroden ist die Durchführung invasiv und gegebenenfalls komplikationsbehaftet.

Bessere Verfahren zur Beurteilung der mimischen Muskulatur, welche für die Verlaufskontrolle und auch für die Indikationsstellung zu einer operativen Versorgung notwendig sind, fehlen (Finkensieper et al. 2012). Auch ist es unzureichend nur einzelne Muskelgruppen der mimischen Muskulatur zu betrachten, da es sich um ein komplexes dreidimensionales System handelt, in dem möglichst viele Muskeln gleichzeitig mittels EMG registriert werden sollten (Lapatki und Jonas 2001). Dies gelang bisher mit den zur Verfügung stehenden Methoden jedoch nicht.

Durch ein neu entwickeltes Multikanal-Oberflächen-EMG-Verfahren ist es nun möglich, myoelektrische Aktivitätsmuster nahezu der gesamten mimischen Muskulatur zu erfassen, die vor allem den Referenzwerten des invasiven EMG-Verfahrens entsprechen (Schumann et al. 2010, Bongers 2011) und bei dem eine gute Reproduzierbarkeit der Anwendung nachgewiesen werden konnte (Spiegel 2012). Durch die monopolare Registriertechnik ist eine hohe räumliche Auflösung und die Darstellung intramuskulärer Aktivitätsunterschiede möglich. Bisher wurde nur ein männliches Probandenkollektiv mit der OEMG-Technik untersucht. Nicht nur intermuskuläre Koordinierungsprozesse der mimischen Muskulatur wurden bis dahin unzureichend untersucht, auch fehlen Daten zu elektrophysiologischen Aktivitätsunterschieden der mimischen Muskulatur zwischen Frauen und Männern. Oberflächen-EMG-Untersuchungen der Bauch- Schulter- und Rückenmuskulatur zeigten bereits, dass es EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen Frauen und Männern gibt (Anders et al. 2004, Anders et al. 2007). Außerdem werden weitere EMG-Referenzdaten der myoelektrischen Aktivität der Fazialismuskulatur von gesunden Probanden benötigt, um im Krankheitsfall eine bessere Diagnostik und Therapie zu ermöglichen.

1.1 Grundlagen

Die mimische Muskulatur

Die mimische Muskulatur bestimmt den individuellen Charakter unseres Gesichtes. Auch das Geschlecht lässt sich meist schon anhand der Gesichtsmerkmale erkennen. Beim männlichen Geschlecht führt die kräftigere Muskulatur zu verstärkten Muskelansätzen und prägt somit die Kinnpartie und den Unterkieferwinkel (Radlanski und Wesker 2012). Die mimische Muskulatur charakterisiert nicht nur unser Aussehen, sie ermöglicht es uns Emotionen zu zeigen, nonverbal zu kommunizieren und Nahrung aufzunehmen. Die mimische Muskulatur gehört ebenso wie die Skelettmuskeln zur quergestreiften Muskulatur des menschlichen Körpers. Eine Muskelfaser besteht aus einem Bündel von Myofibrillen, die wiederum aus hintereinander angeordneten Sarkomeren aufgebaut sind. Die einzelnen Sarkomere sind durch Z-Scheiben getrennt. Die Sarkomere werden aus Aktin- und Myosinfilamenten gebildet. Im Rahmen der Muskelkontraktion kommt es nun, wie durch die Filamentgleittheorie beschrieben, zu einem Vorbeigleiten der Aktin- und Myosinfilamente, die dadurch den Muskel verkürzen ohne selbst ihre Länge zu ändern (Huxley und Hanson 1943).

Im Vergleich zur übrigen Skelettmuskulatur weist die mimische Muskulatur jedoch Besonderheiten auf. Es gibt keinen knöchernen Ansatz, sondern vielmehr eine Insertion über elastische Sehnenenden in der Subkutis. Außerdem gibt es keine Muskelfaszie. Die Muskeln liegen im subkutanen Fettgewebe direkt unter der Haut, wodurch die verschiedensten mimischen Ausdrucksformen gebildet werden können.

Die motorischen Einheiten der mimischen Muskulatur verteilen sich selektiv über bestimmten Regionen über die Muskelfaserbündel. Eine motorische Einheit besteht aus einem Motoneuron, seinem Axon und allen Muskelfasern, die durch dieses Motoneuron innerviert werden (Liddell und Sherrington 1929). Dabei weist die Gesichtsmuskulatur im Vergleich zur Skelettmuskulatur ein sehr niedriges Innervierungsverhältnis auf. Das bedeutet, dass die Anzahl der Muskelfasern, die von einem Motoneuron innerviert werden geringer ist, wodurch eine diffizilere Koordination der Muskelkraft möglich ist. Zur Verdeutlichung kann das Innervationsverhältnis der Wadenmuskulatur im Vergleich zur extraoccularen Augenmuskulatur aufgeführt werden, wobei der M. gastrocnemius ein Verhältnis von 1000-2000:1 und die extraocculare Augenmuskulatur von 3:1 aufweist (Purves et al. 2001).

Die neuromuskuläre Übertragung der Gesichtsmuskulatur erfolgt wie bei der Skelettmuskulatur über **motorische Endplatten** eines efferenten Nervens. Dabei verzweigt sich das Axon terminal baumartig, endet an der Muskelfaser und versorgt über die motorische Endplatte den Muskel. Die motorischen Endplatten der Gesichtsmuskulatur weisen eine randständige, exzentrische Anordnung im Bereich der Muskelfaser auf (Happak et al. 1997), wohingegen die motorischen Endplatten der Skelettmuskulatur in der Mitte des Muskelfaserbündels als schmales Band verlaufen (Aquilonius et al. 1984). Bei histochemischen Muskelfaseruntersuchungen der mimischen Muskulatur wurden zum Teil mehr als eine motorische Endplatte pro Muskelfaser gesehen (21,3% mit zwei MEP und 4,9% mit mehr als zwei MEP) (Happak et al. 1988).

Die Kraftanpassung der **Muskelkontraktion** kann über die Anzahl der rekrutierten motorischen Einheiten erfolgen, oder aber durch das Variieren der Frequenz der fortgeleiteten Aktionspotentiale (Erregungsfrequenz). Die Muskelfasertypen unterscheiden sich in Typ I- Fasern (S-Typ), langsame Fasern und in Typ-II (F-Typ), schnelle Fasern. Durch die Faserzusammensetzung wird die Leistung des Muskels bestimmt. Die mimische Muskulatur weist im Vergleich zur Skelettmuskulatur eine größere Breite und Variation der Verteilung der Muskelfasertypen auf. So finden sich im *M. orbicularis oculi* nur 14% und im *M. buccinator* 67% an Typ-I-Fasern (Freilinger et al. 1990).

Der **N. facialis** innerviert mit seinen motorischen Fasern die gesamte mimische Muskulatur und führt in seinem Intermediusanteil speziell viszeroafferente Geschmacksfasern zu den vorderen zwei-Dritteln der Zunge sowie allgemein viszeroefferente Fasern, welche die Glandula lacrimalis sowie die Glandula submandibularis und die Glandula Sublingualis innervieren. Der Ursprung des N. facialis liegt im Pons im Ncl. nervi facialis. In seinem intrazerebralen Verlauf nehmen die motorischen Fasern die nichtmotorischen Fasern des Intermediusanteils aus dem Ncl. salivatorius und dem Ncl. tractus solitarius auf und lagern sich zusammen. Gemeinsam verlassen die beiden Anteile den Hirnstamm am Kleinhirnbrückenwinkel und treten in das Felsenbein durch den Meatus acusticus internus ein. Durch eine Richtungsänderung, die der N. facialis einschlägt, entsteht das „äußere Fazialisknie“, in dem das Ganglion geniculi liegt. Der Nerv verläuft weiter im Felsenbein im Canalis nervi facialis und gibt drei Nerven (N. petrosus major, N. stapedius, Chorda tympani) ab. Der Hauptteil des N. facialis verlässt schließlich das Felsenbein durch das Foramen stylomastoideum und teilt sich unmittelbar danach weiter auf. So entsteht der

Plexus intraparotideus in der Glandula parotis, welcher mit seinen Ästen die mimische Muskulatur sowie das Platysma versorgt. Anschließend zweigen sich der N. auricularis posterior, der R. digastricus und der R. stylohyoideus ab (Aumüller et al. 2007).

Die mimischen Muskeln lassen sich entsprechend ihrer Lage in verschiedene Bereiche einteilen.

Im **Bereich des Schädeldachs** befindet sich der *M. epicranius*, der aus dem *M. occipitofrontalis* und *M. temporoparietalis* besteht. Wobei der Letztgenannte keine mimische Funktion hat. Der *M. occipitofrontalis* teilt sich in den *Venter frontalis* sowie *Venter occipitalis*. Beide sind mit der Galea aponeurotica, einer flächenhaften Sehne, verbunden. Bei Kontraktion des *Venter frontalis* können die Augenbrauen hochgezogen und die Stirn gerunzelt werden, durch den *Venter occipitalis* Stirnfalten geglättet werden.

Die Muskeln im **Bereich der Lidspalte** bestehen aus dem *M. orbicularis oculi*, dem *M. corrugator supercilli* sowie dem *M. depressor supercilli*. Der *M. orbicularis oculi* setzt sich wiederum aus drei Anteilen zusammen. Zum einen die *Pars palpepralis*, die von der Lidhaut bedeckt ist und für den reflektorischen Lidschluss verantwortlich ist. Zum anderen die *Pars orbitalis*, die das Auge entlang des Orbitarandes ringartig umfasst und für den festen Lidschluss sorgt. Und zuletzt die *Pars lacrimalis*, die durch eine Art Pumpmechanismus den Tränenfilm der Cornea konstant hält und die Tränenflüssigkeit von lateral nach medial in den Tränensack transportiert (Shinohara et al. 2001). Der *M. corrugator supercilli* hat seinen Ursprung am Os frontale und liegt somit unterhalb des *M. orbicularis* im Bereich des superior-medialen Orbitarandes. Aktiviert wird der Muskel beispielsweise durch grelles Sonnenlicht, wodurch die Augenbraue nach inferior-medial gezogen und so eine vertikale Falte, die sog. „Denkerstirn“, gebildet wird. Der *M. depressor supercilli* liegt in der Tiefe und entspringt am Processus frontalis der Maxilla. Durch seinen Ansatz an der Haut zieht er diese bei der Kontraktion nach inferior und es entsteht im Zusammenspiel mit dem *M. procerus* eine horizontale Hautfalte.

Zu den **Muskeln der Nasenregion** zählen der *M. procerus*, *M. nasalis*, sowie der *M. levator labii superioris alaeque nasi*. Der *M. procerus* hat seinen Ursprung am Dorsum nasi und verläuft in der Stirnhaut, wo er sich auch mit Fasern des *M. frontalis* verbindet. Bei Kontraktion entstehen Querfalten im Bereich der Nasenwurzel, die sog. „Zornesfalten“. Der *M. nasalis* besteht aus einer *Pars transversa*, welche das Nasenloch verengt und die Nasenspitze herabzieht sowie der *Pars alaris*, die bei Kontraktion das Nasenloch erweitert. Der *M. levator labii superioris alaeque nasi* gehört teils zur Nasen-, teils zur

Mundregion. Dabei entspringt er am Processus frontalis der Maxilla und zieht als schmaler, langer Muskel nach inferior zum Nasenflügel und zur Oberlippe, wodurch bei Kontraktion Nasenflügel und Oberlippe gehoben werden können.

Zu den **Muskeln der Mundregion** zählt der *M. orbicularis oris*. Er umgibt als Ringmuskel zirkulär die Mundöffnung und bildet mit seiner *Pars labialis* im Wesentlichen die muskuläre Grundlage der Lippen bzw. die äußere Form des Mundes. Die *Pars marginalis* befindet sich im Bereich des Lippenrots. Der *M. orbicularis oris* ist für den Mundschluss verantwortlich, wodurch er eine wichtige Funktion bei der Nahrungs- und der Flüssigkeitsaufnahme hat sowie die Artikulation von Worten möglich macht. Der *M. levator labii superioris* ist ein weiterer Muskel der Mundregion. Er geht aus der Muskelmasse des *M. orbicularis oculi* hervor. Durch seinen vertikalen Verlauf entlang des Nasenflügels und dem Ansatz an der Dermis der Oberlippe ermöglicht er bei Kontraktion das Heben derselben. Der *M. zygomaticus major et minor* ist ebenso an der Bewegung des Mundes beteiligt und wird im Zusammenspiel mit dem *M. risorius* als „Lachmuskel“ bezeichnet. Die Muskeln setzen am kranial-lateralen Mundwinkel an und ziehen den Mundwinkel nach superior-lateral. Der *M. zygomaticus major* hat seinen Ursprung am Jochbogen, der *M. zygomaticus minor* geht etwas medial davon aus dem *M. orbicularis oculi* hervor. Teils bedeckt vom *M. zygomaticus minor* sowie vom *M. levator labii superioris* verläuft der *M. levator anguli oris*, der an der Fossa canina der Maxilla entspringt, in Richtung Mundwinkel und Muskulatur der Oberlippe. Dort bildet sich zusammen mit dem *M. zygomaticus major*, *M. risorius*, *M. buccinator* sowie dem *M. depressor anguli oris* eine Muskelkreuzung, der sog. Modiolus. Der *M. levator anguli oris* hebt ebenfalls den Mundwinkel, jedoch mehr nach medial. Sein Gegenspieler ist der *M. depressor anguli oris*, der an der Basis der Mandibula entspringt und breitflächig nach kranial zieht, bis er sich am Modiolus wieder verjüngt. Bei Kontraktion zieht er somit den Mundwinkel herab. Ein weiterer Senker der Unterlippe ist der *M. depressor labii inferioris*. Er hat seinen Ursprung ebenso an der Mandibula, etwas kranial des *M. depressor anguli oris*, von wo er schließlich nach median zur Unterlippe zieht. Der Kinnmuskel, der *M. mentalis* hat seinen Ursprung am Jugum alveolare des unteren lateralen Schneidezahns. Seine Fasern ziehen vertikal nach kaudal und enden am Korium des Kinns, wodurch die Kinnhaut bei Kontraktion nach oben gezogen wird. Der *M. buccinator*, der sog. Wangenmuskel, bildet die muskuläre Grundlage der Wangen. Er verläuft im Vergleich zur übrigen mimischen Muskulatur in der Tiefe des Gesichts und besitzt eine dünne Faszie. Sein Ursprung ist sowohl am Corpus der Mandibula als auch an der Maxilla, jeweils am äußeren und hinteren Ende

der Alveolarfortsätze. Die Muskelfasern konvergieren und setzen zusammen mit dem *M. orbicularis oris* am Modiolus sowie an der Subkutis der Wangenhaut an. Beim Kauen drückt der *M. buccinator* die Nahrung aus dem Vestibulum oris zwischen die Zahnreihen.

Die Fazialisparese

Abhängig vom Ort der Schädigung können zwei Formen der Fazialisparese unterschieden werden. Die zentrale und die periphere Fazialisparese. Der obere Teil des Fazialiskerns, der Stirn- und Augenmuskulatur versorgt, besitzt eine bilaterale Innervation durch das erste motorische Neuron. Der untere Teil des Fazialiskerns, der die übrige mimische Muskulatur versorgt, weist eine ausschließlich kontralaterale Innervation auf. Eine einseitige supranukleare Schädigung, ein Ausfall des ersten Motorneurons, führt zu einer zentralen Fazialisparese. Dabei bleibt aufgrund der bestehenden bilateralen Versorgung des oberen Teils des Fazialiskerns die Funktion der Stirn- und Augenmuskulatur vollständig erhalten. Dagegen tritt bei den übrigen mimischen Muskeln kontralateral zur Schädigung eine Parese auf. Liegt eine Schädigung des zweiten Motorneurons (infranukleär) vor, spricht man von einer peripheren Fazialisparese, die mit einer Parese der gesamten mimischen Muskulatur der ipsilateralen Gesichtsseite einhergeht.

Während der zentralen Fazialisparese als Ursache meist ein Apoplex zu Grunde liegt (Finkensieper et al. 2012), überwiegt bei den peripheren Fazialis paresen mit 60-75% die idiopathische Form (Peitersen 2002, Gilden 2004). In nur zwei Prozent der Fälle aller Fazialis paresen treten bilaterale Ausfälle auf (Teller und Murphy 1992).

Von einer peripheren Fazialisparese sind jährlich 4-70 pro 100.000 Einwohner betroffen (Hauser et al. 1971, Martyn und Hughes 1997, Marson und Salinas 2000, De Diego-Sastre et al. 2005, Morales et al. 2013), Frauen und Männer gleichhäufig (Holland und Weiner 2004). In der Schwangerschaft tritt eine Bell'sche Parese (idiopathisch) mit einem dreifach erhöhtem Risiko im Vergleich zur übrigen Bevölkerung auf (Cohen et al. 2000, Hilsinger et al. 1975).

Durch den Ausfall der Gesichtsmuskulatur verbleibt oft nicht nur eine funktionelle Einschränkung, sondern auch eine hohe psychosoziale Belastung aufgrund des pathognomonischen Erscheinungsbildes (Kiese-Himmel et al. 1993, Bradbury et al. 2006). Dabei weisen Frauen einen signifikant höheren Leidensdruck als Männer auf. Das Ausmaß der Lähmung ist hierbei nicht entscheidend (Fu et al. 2011).

Diagnostik der Fazialisparese

Für die Unterscheidung zwischen zentraler und peripherer sowie zwischen idiopathischer (Bell-Lähmung) und symptomatischer Fazialisparese ist eine umfassende Diagnostik unabdingbar. Hierzu zählen neben der exakten klinischen Untersuchung, eine an die Anamnese angepasste Labordiagnostik sowie radiologisch bildgebende Verfahren.

Darüber hinaus kommen **standardisierte Bewertungssysteme** zum Einsatz (z.B. House-Brackmann Test (HBS) oder Sunnybrook-Test (SFGS)). Diese Tests sind im klinischen Alltag gut durchzuführen, qualifizieren den Ort der Schädigung jedoch nur ungenau und die Anwendung ist nicht objektiv (Fattah et al. 2014).

Die Sorge der Patienten richtet sich auf die Prognose sowie den Heilungsverlauf der Krankheit. Auch hier geben diese Tests nur ungenügend Auskunft. Außerdem ist eine präzise Verlaufskontrolle aufgrund einer hohen Inter-Observer-Varianz nur schwer möglich.

Die **bildgebende Diagnostik** umfasst die Sonographie, die Computertomographie (CT), sowie die Magnetresonanztomographie (MRT). Die Sonographie dient vor allem dem Ausschluss struktureller Erkrankungen der Glandula parotis. Es wurden zudem bereits ultraschallgestützte Nadel-EMG-Untersuchungen durchgeführt, um eine optimale Platzierung der Nadelelektroden zu ermöglichen (Yoo et al. 2013). Darüber hinaus wurden 3-D-Ultraschalluntersuchungen zur quantitativen Beurteilung der mimischen Muskulatur nach einer Läsion des N. facialis eingesetzt (Volk et al. 2014a). Die Computertomographie (CT) ist das Standard-Verfahren zur Darstellung der knöchernen Strukturen und gibt somit Auskunft über Frakturen oder Knochentumore, welche sich im Verlauf des N. facialis befinden. Mittels Magnetresonanztomographie (MRT) kann der intrakranielle sowie intratemporale Verlauf des N. facialis bis zum Austritt aus Foramen stylomastoideum dargestellt werden. Die periphere Darstellung gelingt bisher nicht ausreichend. Jedoch konnten neuerliche MRT-Untersuchungen die mimische Muskulatur darstellen und strukturelle muskuläre Veränderungen nach einer Schädigung des N. facialis offen legen (Volk et al. 2014b).

Zu den **elektrophysiologischen Untersuchungsverfahren** gehört die Elektroneurographie (ENG), die es erlaubt Summenaktionspotentiale des *M. nasalis* nach maximaler transkutaner Stimulation des Nervens im Bereich des Mastoids abzuleiten. Es wird jedoch eine deutliche Variabilität der Ergebnisse beschrieben (Sittel et al. 1998). Auch die prognostische Aussage der Untersuchung ist gering (Grosheva et al. 2008). Ähnliches gilt für die Messung des Blinkreflexes. Hierbei erfolgt die supramaximale Reizung des N.

supraorbitales (N. trigeminus). Die Reizantwort wird durch Oberflächenelektroden zunächst über dem ipsilateralen *M. orbicularis oculi* registriert und mit einer Latenz auch auf der kontralateralen Seite (Esteban 1999, Bour et al. 2000).

Eine weitere elektrodiagnostische Untersuchungsmethode ist die Transkranielle Magnetstimulation (TMS), bei der ebenso ein supramaximaler Reiz über dem Mastoid durch Magnetfeldstimulation gesetzt wird. Dabei gelingt es, den Nerven schon im inneren Gehörgang zu reizen und mit hoher Sensitivität die Läsionsstelle zu detektieren (Nowak et al. 2005). Auch bei dieser Methode wird das Summenaktionspotential am *M. nasalis* abgeleitet. Diese Methode ermöglicht es somit als einzige den Nerven proximal seiner Läsionsstelle zu stimulieren. Aber auch die TMS weist eine hohe Variabilität auf und ist nicht zur Prognosebeurteilung geeignet (Cocito und De Mattei 1992), auch wenn sich die Literatur hier teilweise widerspricht (Laranne et al. 1995).

Derzeit ist die Elektromyographie (EMG) das beste Verfahren hinsichtlich des Nachweises des Schweregrades, Prognose der Schädigung - auch in Hinblick auf eine operative Rekonstruktion des Nerven - und sie erlaubt Verlaufskontrollen (Sittel und Stennert 2001, Jungehülsing et al. 2001).

Die Elektromyographie (EMG)

Der Grundstein der Elektrophysiologie konnte im Jahr 1771 gelegt werden, als Galvani an einem Tierversuch zeigte, dass die elektrische Stimulation eines Muskels zur Kontraktion führte (Kazamel und Warren 2017). In der Mitte des 19. Jahrhundert wies Emil du Bois-Reymond erstmals Ströme in einem willkürlich kontrahierten Muskel nach (Finkelstein 2000), die später als Aktionspotential bezeichnet wurden. Durch die Beschreibung der motorischen Einheit von Sherrington und Liddell im Jahre 1925 konnte das EMG weiter entwickelt werden (Liddell und Sherrington 1929). Schon 1929 war es Edgar Douglas Adrian möglich, Aktionspotentiale über eine Nadelelektrode, verbunden mit einem Verstärker und Lautsprecher, aufzuzeichnen (Kazamel und Warren 2017). Die erste klinische EMG-Untersuchung am neurologisch erkrankten Patienten wurde 1938 von Denny-Brown und Pennybacker veröffentlicht (Mayer 2001). Nach dem zweiten Weltkrieg wurden weitere Untersuchungen an gesunden sowie verletzten Nerven durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Ableittechniken, wie das Nadel-EMG und das Oberflächen-EMG entwickelt.

Heute gilt die Elektromyographie als eine hervorragende diagnostische Methode, mit der die elektrische Aktivität eines Muskels gemessen werden kann. Weiterhin ist sie von großer Bedeutung in der aktuellen Forschung.

Bei der EMG-Messung wird die elektrische Aktivität eines Muskels gemessen. Da ein Motoneuron mehrere Muskelfasern versorgt, kommt es nahezu gleichzeitig zur Erregung von mehreren Muskelfasern. Mit der Elektromyographie werden Summenaktionspotentiale registriert. Jedes von ihnen ergibt sich aus der Summe der Aktionspotentiale aller Muskelfasern, die zu einer motorischen Einheit gehören. Das EMG-Signal des Muskels ist die Folge sich zum Teil überlagernder Summenaktionspotentiale der aktiven motorischen Einheit.

Die Elektromyographie kann invasiv mittels Nadel- oder Drahtelektrode oder aber nicht-invasiv mittels Oberflächen Elektroden erfolgen.

In der neurologischen Diagnostik werden EMG-Untersuchungen meist mit konzentrischen Nadelelektroden durchgeführt. Diese werden intramuskulär eingebracht. Die Nadelelektroden eignen sich zur selektiven Registrierung der myoelektrischen Aktivität einer oder mehrerer motorischer Einheiten (Finsterer 2002). Die Ableitung wird durch benachbarte Muskeln kaum gestört. Die Reproduzierbarkeit der Untersuchung ist durch die notwendige exakte Positionierung der Elektroden gering (Zwarts und Stegeman 2003).

Im Rahmen der klinischen Diagnostik werden nur die sechs wichtigsten Muskeln der mimischen Muskulatur, der *M. frontalis*, *M. orbicularis oculi*, *M. zygomaticus major*, *M. levator anguli oris*, *M. orbicularis oris* und *M. depressor anguli oris* untersucht. Da die Gesichtsmuskulatur ein komplexes dreidimensionales System darstellt, ist die Betrachtung einzelner Muskelgruppen weniger aussagekräftig. Besser wäre es, wenn möglichst viele Muskeln gleichzeitig mittels EMG registriert werden (Lapatki und Jonas 2001).

Hierfür ist die nicht-invasive Methode der Oberflächen elektromyographie besser geeignet. Dabei werden die Elektroden auf der Hautoberfläche über dem zu untersuchenden Muskel befestigt. Es wird überwiegend die EMG-Aktivität der oberflächlich liegenden Muskeln registriert. Durch die Oberflächen elektromyographie sind auch Aussagen zu intramuskulären Koordinationsprozessen während motorischer Bewegungen möglich (Schumann et al. 2002). Die Oberflächen-EMG-Ableitung kann in mono- oder bipolarer Technik durchgeführt werden. Dabei werden jeweils die Potentialdifferenzen zwischen zwei bzw. mehreren auf der Haut befestigten Elektroden erfasst. Bei der bipolaren Ableittechnik wird die Potenzialdifferenz zwischen zwei differenten Elektroden gemessen. Hierbei ist auf eine parallele Anordnung der Elektroden zum Muskelfaserverlauf zu

achten (Fridlund und Cacioppo 1986). Die korrekte Ableitung bedingt also ein genaues anatomisches Wissen über den Muskelfaserverlauf und ist gerade im Bereich der mimischen Muskulatur aufgrund der engen anatomischen Verhältnisse schwierig (Lapatki et al. 2010). Durch neuere Verfahren der „High-density“-Oberflächen-EMG können multiple, eng beieinander angeordnete Elektroden motorische Einheiten einzelner Muskeln im Gesichtsbereich genau lokalisieren (Lapatki et al. 2006).

Die Ableitung der monopolaren Oberflächen-EMG erfolgt über differente Elektroden, die über den Muskeln platziert werden und eine indifferente (gemeinsame) Elektrode, die weiter vom Muskel entfernt und auf einer möglichst muskelfreien Region positioniert wird. Im Vergleich zur bipolaren Ableitung wird somit nur die Hälfte der Elektroden benötigt. Es können bei der Verwendung eines Multikanal-Oberflächen-EMG intramuskuläre Aktivitätsunterschiede auch sehr kleiner Muskeln erfasst werden (Schumann et al. 1994).

Crosstalk

Hierbei handelt es sich um OEMG-Signale, die von unmittelbar benachbarten Muskeln stammen und nicht ausschließlich vom untersuchten Muskel selbst (Farina et al. 2004). Besonders relevant ist „Crosstalk“ bei EMG-Untersuchungen der mimischen Muskulatur, da die Muskeln hier sehr eng beieinander liegen oder sich sogar kreuzen.

Bereits in der früheren OEMG-Untersuchung der männlichen Probanden wurde Crosstalk der mimischen Muskeln untersucht (Bongers 2011). Dabei zeigte sich hohe Crosstalk-Aktivität an der *Pars inferiores* des *M. orbicularis oris* sowie dem *M. mentalis* bei selektiver Erregung des *M. depressor labii inferioris* beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)**. Beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** bestand ebenso hohe Crosstalk-Aktivität zwischen dem *M. frontalis* und dem *M. orbicularis oculi*.

Stand der Wissenschaft

Bisher gelang es nicht, intermuskuläre Koordinationsprozesse der gesamten mimischen Muskulatur mittels EMG-Untersuchungen zu charakterisieren. Durch ein neu entwickeltes Multikanal-Oberflächen-EMG-Verfahren wurde die Registrierung der myoelektrischen Aktivitätsmuster der gesamten mimischen Muskulatur möglich (Schumann et al. 2010). Die gute Reproduzierbarkeit der Anwendung des Verfahrens wurde bereits nachgewiesen (Spiegel 2012).

Die Studie zur Erfassung komplexer myoelektrischer Aktivitätsmuster der gesamten mimischen Muskulatur berücksichtigte bisher jedoch nur ein männliches Probandenkollektiv (Bongers 2011).

Bereits Davis vermutete 1952, dass das Geschlecht eines Individuums einen Einfluss auf die EMG-Aktivität haben könnte (Davis 1952). Geschlechterspezifische Unterschiede der Morphologie der Extremitätenmuskulatur sind nachgewiesen. Männer besitzen eine größere Muskelmasse (Janssen et al. 2000), was überwiegend auf einen größeren Querschnitt der Muskelfasern zurückgeführt wird (Miller et al. 1993, Jones et al. 2016). In einer histochemischen Untersuchung von acht verschiedenen mimischen Muskeln konnte im Wesentlichen kein Unterschied des Durchmessers der Muskelfasern zwischen Frauen und Männern gesehen werden. Lediglich der *M. zygomaticus major* wies einen größeren Faserdurchmesser sowohl der Typ-I als auch der Typ-II Fasern, der *M. depressor anguli oris* nur bei den Typ-II Fasern in der männlichen Gruppe auf (Happak et al. 1988).

In der nahen Vergangenheit konnten OEMG-Untersuchungen an der Bauch-sowie Rückenmuskulatur zeigen, dass es EMG-Amplitudenunterschiede zwischen Frauen und Männern gibt (Anders et al. 2007). Auch OEMG-Untersuchungen der Schultermuskulatur wiesen Unterschiede zwischen Frauen und Männern auf (Anders et al. 2004). Dies wurde vor allen Dingen auf die unterschiedliche Anatomie sowie auf die Verteilung der Muskelfasern zurückgeführt. Elektrophysiologische Aktivitätsunterschiede der Muskulatur zwischen Frauen und Männern sind bisher nur selten untersucht. Vor allem gab es bisher keine elektrophysiologischen Untersuchungen, die mögliche Geschlechterunterschiede der gesamten mimischen Muskulatur betrachteten.

Weitere Referenzdaten der EMG-Aktivität der Fazialismuskulatur eines gesunden Probandenkollektivs werden benötigt, um im Krankheitsfall eine sichere Diagnose zu stellen, eine bessere Prognoseabschätzung zu geben, Verlaufskontrollen zu ermöglichen und gegebenenfalls Operationen zu planen. Ein weiteres Einsatzfeld könnte auch das intraoperative Monitoring neurochirurgischer Operationen im Bereich des Kleinhirnbrückenwinkels sein.

2 Ziele der Studie

Für die vom N. facialis innervierte Muskulatur ist bisher nicht bekannt, ob sich die Höhe der OEMG-Aktivität und ob sich die intermuskulären Koordinationsmuster zwischen weiblichen und männlichen Probanden unterscheiden.

Aus einer zuvor durchgeführten Studie einer OEMG-Untersuchung liegen bereits Referenzdaten der EMG-Aktivität der mimischen Muskulatur für ein gesundes, junges männliches Probandenkollektiv vor (Schumann et al. 2010, Bongers 2011).

Ziel der Studie ist es nun mit dem Multikanal-Oberflächen-EMG-Verfahren Referenzdaten der mimischen Muskulatur von einem gesunden, jungen weiblichen Probandenkollektiv erfassen.

Diese EMG-Daten weiblicher Probanden sollen mit dem bereits vorliegenden EMG-Datensätzen männlicher Probanden, die zuvor reevaluiert werden, verglichen werden. Anhand der Ergebnisse soll geprüft werden, ob es unterschiedliche myoelektrische Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur zwischen Frauen und Männern gibt oder ob die EMG-Aktivitätsmuster beider Geschlechter zu gemeinsamen Referenzwerten zusammengefasst werden können.

3 Material und Methoden

3.1 Probanden

An den EMG-Untersuchungen der mimischen Muskulatur nahmen 25 gesunde Probandinnen im Alter von 18 bis 28 Jahren (MW 23,32 Jahre; $SD \pm 2,33$) teil. Bei den Probandinnen gab es keine Hinweise auf neurologische oder dermatologische Erkrankungen.

Als Vergleichsgruppe dienten 25 ebenfalls gesunde, männliche Probanden im Alter von 22 bis 37 Jahren (MW 26,84 Jahre; $SD \pm 4,1$). Diese Gruppe wurde bereits in einer vorherigen Studie mit selber Methodik untersucht (Schumann et al. 2010, Bongers 2011). Um die Interobserver-Bias zu verringern, erfolgte in dieser Arbeit eine de novo Auswertung des Datensatzes der männlichen Gruppe. Zur besseren Vergleichbarkeit der Probandengruppen wurden die ersten fünf Probanden der männlichen Gruppe für die Auswertung nicht berücksichtigt, da bei dieser Studie 30 Probanden untersucht wurden.

Tabelle 1: Übersicht Probandenkollektiv der weiblichen Gruppe

Probanden-nummer	Alter (in Jahren)	Händigkeit	Probanden-nummer	Alter (in Jahren)	Händigkeit	Probanden-nummer	Alter (in Jahren)	Händigkeit
1	27	rechts	10	20	rechts	19	22	rechts
2	25	rechts	11	21	links	20	25	rechts
3	21	rechts	12	23	rechts	21	25	rechts
4	23	rechts	13	23	rechts	22	18	rechts
5	28	rechts	14	24	rechts	23	24	rechts
6	21	rechts	15	21	rechts	24	27	rechts
7	22	rechts	16	22	rechts	25	26	rechts
8	23	rechts	17	24	rechts			
9	23	rechts	18	25	rechts			

Tabelle 2: Übersicht Probandenkollektiv der männlichen Gruppe

Proban- den- nummer	Alter (in Jah- ren)	Händig- keit	Proban- den- nummer	Alter (in Jah- ren)	Händig- keit	Proban- den- nummer	Alter (in Jah- ren)	Händig- keit
6	26	rechts	15	29	links	24	28	rechts
7	24	rechts	16	23	rechts	25	24	rechts
8	33	rechts	17	26	rechts	26	22	rechts
9	38	rechts	18	28	rechts	27	37	rechts
10	27	rechts	19	24	rechts	28	25	rechts
11	25	rechts	20	25	rechts	29	25	rechts
12	27	rechts	21	26	rechts	30	24	rechts
13	24	rechts	22	33	rechts			
14	22	rechts	23	26	rechts			

3.2 EMG-Registrierung und Vorbereitung der Probanden

Die Registrierung des Elektromyogramms erfolgte monopolar mittels eines Multikanal-EMG-Systems (Biovision Wehrheim, Deutschland) mit einer Frequenz von 10-700 Hz, einer Abtastrate von 3000 Samples/s und einer Auflösung von 2,4 $\mu\text{V/bit}$. Für die elektromyographischen Registrierungen wurden 44 kleine Oberflächenelektroden mit einem Durchmesser von 4mm aus gesintertem Ag/AgCl verwendet (Fa. Zentner, Freiburg, Deutschland).

Als Referenzelektroden dienten Einmal-Elektroden mit einem Durchmesser von 15 mm an beiden Ohrläppchen (Kendall, Covidien, Deutschland). In gleicher Weise wurde eine Groundelektrode am Processus mastoideus befestigt.

Zur Applikation der Elektroden wurde zunächst die Gesichtshaut mit einer Elektrodenabstrationspaste (EPICONT, Marquette Hellige GmbH, Freiburg, Deutschland) gereinigt und schließlich mit Alkohol entfettet. Durch die Reinigung wurde der Übergangswiderstand zwischen Haut und Oberflächenelektroden auf unter 10k Ω reduziert (Nadeau et al. 1993). Dadurch konnte auch eine bessere Haftbarkeit der Halteplaster auf der Hautoberfläche erzielt werden.

Bei der Vorbereitung wurden die Halteplaster mit geringem Überstand auf der Haut abgewandten Seite der Elektrode geklebt und die Oberfläche der Elektrode mit Elektrodencreme (GE Medical Systems Inform. Techn., Freiburg, Deutschland) versehen. Nun erfolgte die Fixierung der Elektroden über den entsprechenden mimischen Muskeln (siehe 3.3 Elektrodenanordnung).

3.3 Elektrodenanordnung

Die Oberflächenelektroden wurden symmetrisch anhand makro-anatomischer Landmarken (Lapatki et al. 2010) sowie nach internationalen Vorgaben (Fridlund und Cacioppo 1986) auf der Gesichtshaut der Probandinnen platziert. Eine wesentliche Orientierung zur optimalen Elektrodenpositionierung bot die Arbeit von Schumann und Bongers 2010 (Schumann et al. 2010, Bongers 2011).

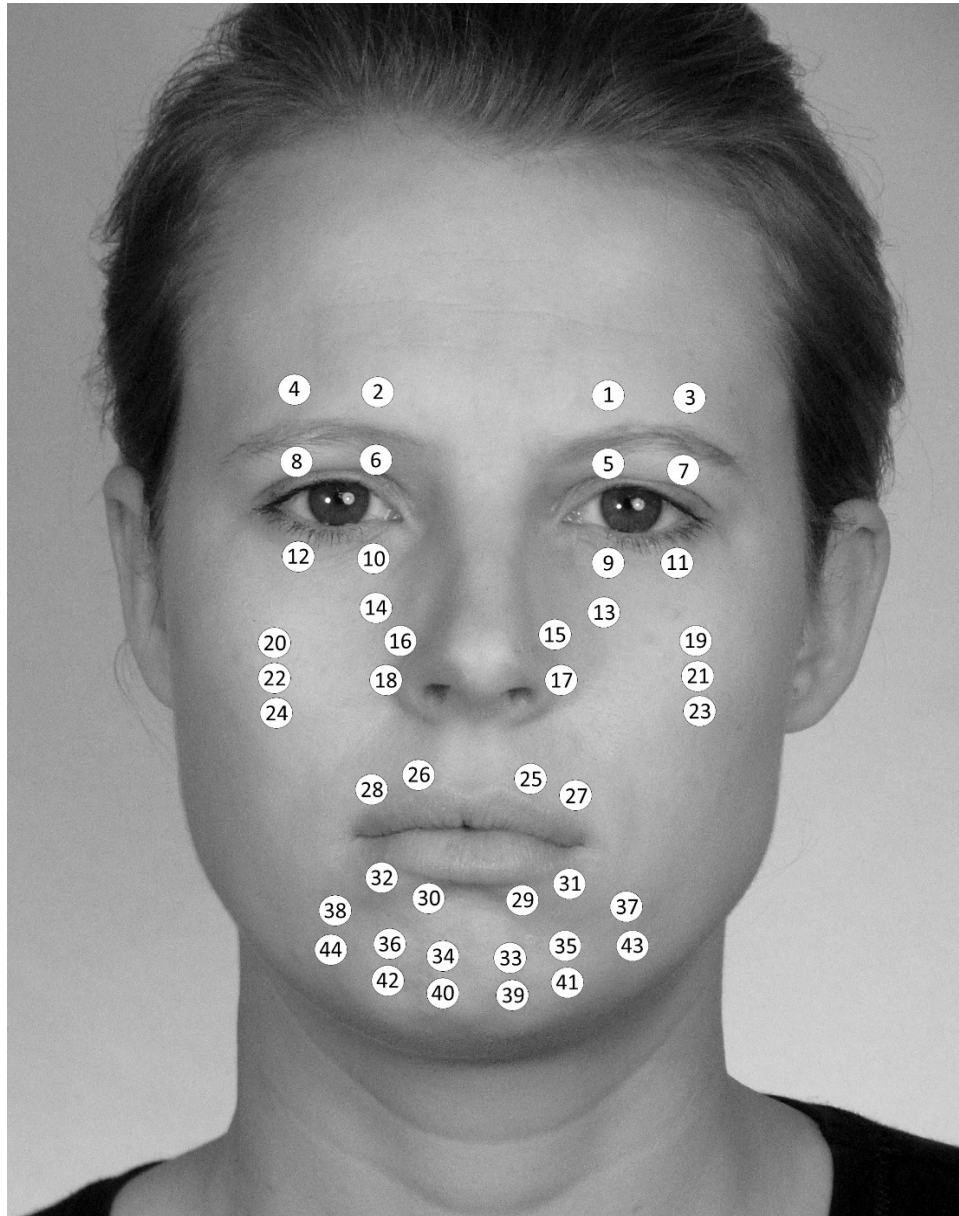


Abbildung 1: Schema der Elektrodenanordnung über den untersuchten mimischen Muskeln

M. frontalis

Elektroden 1 und 3 linke Gesichtshälfte, Elektroden 2 und 4 rechte Gesichtshälfte.

Die Platzierung des Elektrodenpaares erfolgte in horizontaler Ebene im Bereich des unteren Drittels der Stirnpartie, oberhalb des Arcus superciliaris in Anlehnung an die Empfehlungen von Davis J.F. (Davis 1952). Eine horizontale Elektrodenpositionierung im Bereich des M. frontalis registriert eine höhere EMG-Aktivität als eine vertikale Anordnung (Williamson et al. 1980). Die lateral gelegene Elektrode wurde entlang einer gedachten vertikalen Linie vom lateralen Orbitalrand, die mediale vom medialen Orbitalrand ausgehend angebracht.

M. orbicularis oculi

Elektroden 5 und 7 linke Gesichtshälfte oberes Augenlid, Elektroden 9 und 11 linke Gesichtshälfte unteres Augenlid, Elektroden 6 und 8 rechte Gesichtshälfte oberes Augenlid, Elektroden 10 und 12 rechte Gesichtshälfte unteres Augenlid.

Die Anordnung der Elektroden erfolgte entsprechend des Muskelverlaufes auf der palpablen Margo supraorbitalis des Os frontalis, respektive der Margo infraorbitalis des Os maxillaris und des Os zygomaticum entlang der vertikalen Tangenten des medialen und lateralen Irisrandes.

M. levator labii superioris

Elektrode 13 linke Gesichtshälfte, Elektrode 14 rechte Gesichtshälfte.

Die Elektrodenposition ergibt sich ausgehend von den Elektroden 15 und 16. Die Applikation erfolgte 30° nach superior-lateral versetzt und unterhalb der Margo infraorbitalis.

M. levator labii superioris alaeque nasi

Elektroden 15 und 17 linke Gesichtshälfte, Elektroden 16 und 18 rechte Gesichtshälfte.

Die Elektroden wurden lateral der Nasenflügel in vertikaler Ausrichtung im unteren Drittel des Muskelverlaufes angebracht.

Mm. zygomatici major et minor

Elektroden 19, 21 und 23 linke Gesichtshälfte, Elektroden 20, 22 und 24 rechte Gesichtshälfte.

Im Verlauf einer vertikal gedachten Linie durch den lateralen Orbitalrand, auf der Höhe der Nasenflügel wurden diese Elektroden platziert. Zur Sicherstellung einer optimalen

EMG-Registrierung, bei anatomischer Variation des Verlaufes des M. zygomaticus major und häufiger Aplasie des M. zygomaticus minor, erfolgte die Elektrodenanordnung gruppiert und senkrecht zum Faserverlauf (Farahvash et al. 2010, Pessa et al. 1998b, Pessa et al. 1998a, Shim et al. 2008).

M. orbicularis oris pars superioris

Elektroden 25 und 27 linke Gesichtshälfte, Elektroden 26 und 28 rechte Gesichtshälfte.

Die Anordnung erfolgte direkt oberhalb des Lippenrots zwischen den Anguli oris. Die medialen Elektroden wurden lateral des Philtrums platziert. Hier inserieren sowohl die ipsilateralen Fasern des Muskels als auch die der kontralateralen Seite (Zhang 1990, Latham und Deaton 1976, Lee 1988). Eine gegenseitige EMG-Registrierung konnte so minimiert werden.

M. orbicularis oris pars inferioris

Elektroden 29 und 31 linke Gesichtshälfte, Elektroden 30 und 32 rechte Gesichtshälfte.

Die Pars inferioris weist nur einen schmalen oberflächlichen Anteil auf. Dieser befindet sich direkt unterhalb des Lippenrots. Hier erfolgte die gleichmäßige Platzierung der Elektroden zwischen den Anguli oris.

M. depressor anguli oris

Elektroden 37 und 43 linke Gesichtshälfte, Elektroden 38 und 44 rechte Gesichtshälfte.

Die Elektrodenplatzierung wurde auf einer vertikal nach unten verlaufenden Linie vom Modiolus ausgehend vorgenommen. Durch ein kräftiges, mit geschlossenem Mund ausgeführtes, Lächeln kann der muskulo-tendinöse Knoten des Modiolus palpiert und als anatomische Landmarke verwendet werden (Yu et al. 2013).

M. depressor labii inferioris

Elektroden 35 und 41 linke Gesichtshälfte, Elektroden 36 und 42 rechte Gesichtshälfte.

Zwischen den Elektroden des M. depressor anguli oris und des M. mentalis wurden die Elektroden des M. depressor labii inferioris paarweise in vertikaler Ausrichtung angeordnet.

M. mentalis

Elektroden 33 und 39 linke Gesichtshälfte, Elektroden 34 und 40 rechte Gesichtshälfte.

Bei Elevation der Unterlippe tritt die muskuläre Prominenz des M. mentalis hervor. Lateral der Gesichtsmittellinie erfolgte die Applikation der Elektroden unterhalb des mentolabialen sulcus über dem Muskelwulst.

3.4 Untersuchungsablauf

Die EMG-Untersuchung umfasste 29 mimische Bewegungsaufgaben. Während der Untersuchung befanden sich die Probandinnen in aufrecht sitzender Position – Hände entspannt auf den Oberschenkeln liegend – Blick auf einen ausgewählten Punkt an der gegenüberliegenden Wand gerichtet. Somit konnten Bewegungsartefakte der Augen und der Halsmuskulatur verringert werden (van Boxtel 2001).

Jede motorische Bewegungsaufgabe wurde vom Untersucher genannt und demonstriert. Die Bewegung wurde einmal zur Probe durchgeführt, um mögliche Abweichungen der definierten motorischen Aufgaben zu korrigieren.

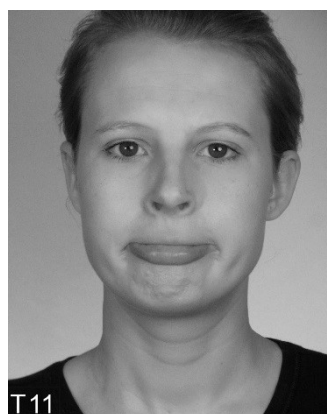
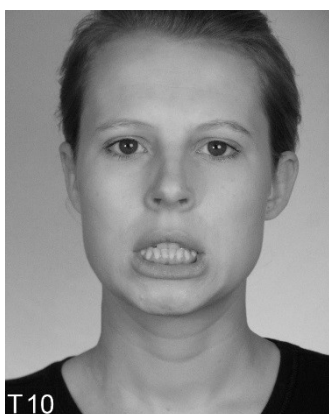
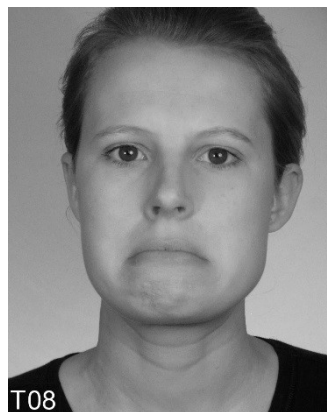
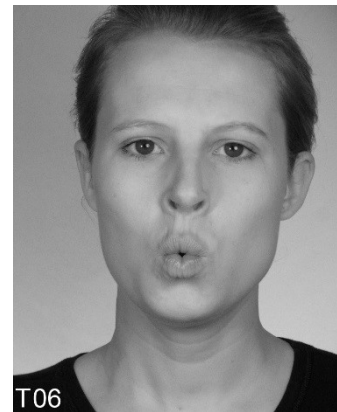
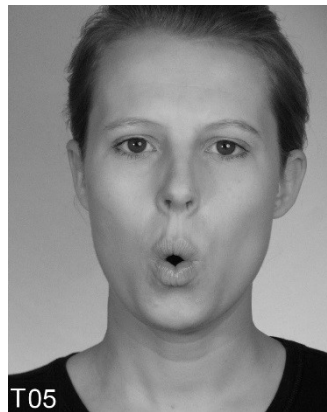
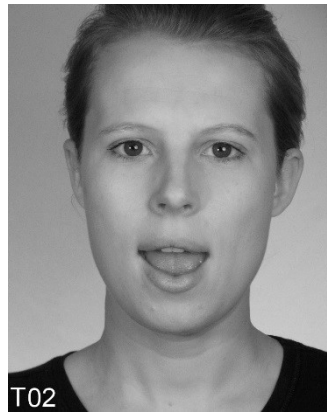
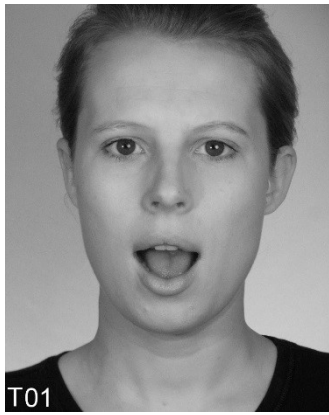
Die EMG-Aufzeichnung einer mimischen Bewegung erfolgte über drei Sekunden. Dabei sollte auf eine gleichmäßige, kraftvolle Ausführung geachtet werden. Nach einem Pausenintervall von fünf Sekunden wurden zwei Wiederholungen der mimischen Bewegung in derselben Weise durchgeführt.

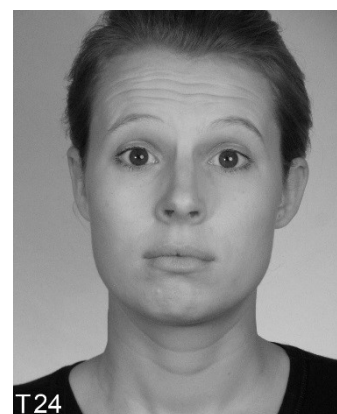
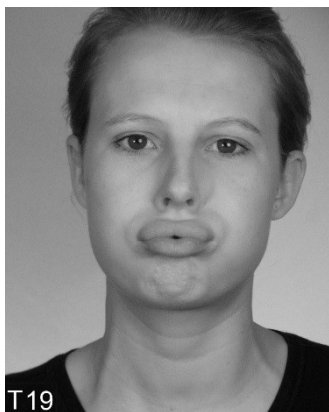
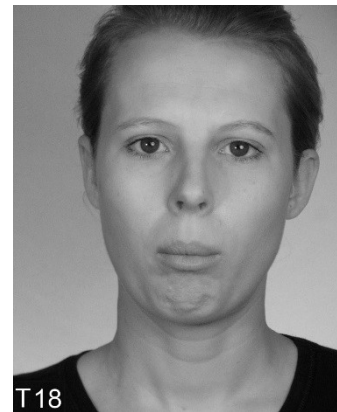
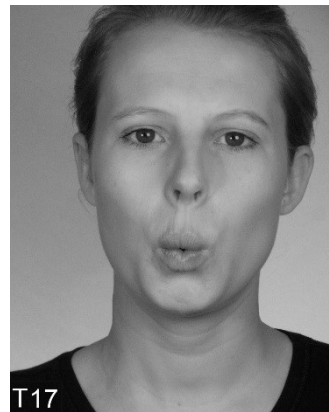
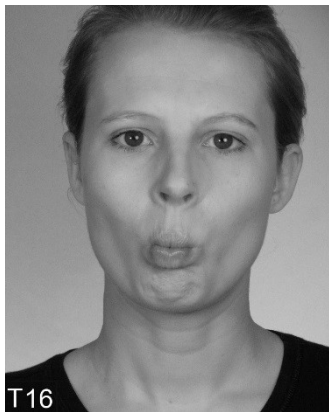
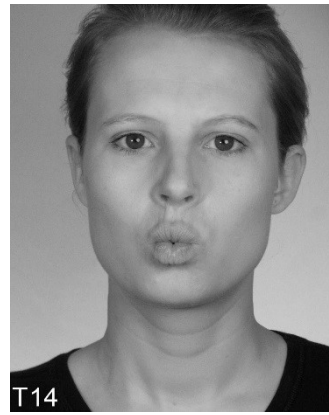
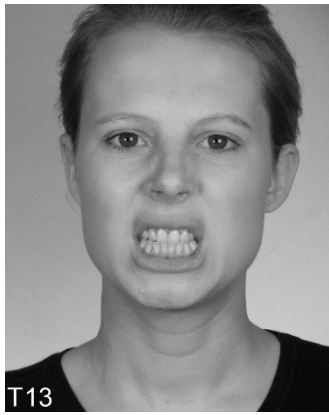
Simultan erfolgte eine Videoregistrierung. Diese ermöglichte eine Aussage über inter- und intra-individuelle Unterschiede bei der Bewegungsausführung sowie später einen Vergleich der motorischen Bewegung mit dem EMG-Aktivitätsmuster.

Zu den motorischen Aufgaben gehörten das Artikulieren von Vokalen und Umlauten (T1-T6) sowie weitere motorisch-mimische Bewegungsaufgaben (T7-T29), bei denen verschiedene, vom Nervus facialis innervierte, Muskelgruppen aktiv waren. Alle mimischen Bewegungsaufgaben sind in **Tabelle 3** dargestellt und werden in **Abbildung 2** demonstriert.

Tabelle 3: Übersicht aller mimischen Bewegungsaufgaben

Nr.	Übung	Nr.	Übung
T1	Artikulation des Vokals A	T16	Einziehen der Wangen
T2	Artikulation des Vokals Ä	T17	Pfeifen in konstanter Tonhöhe
T3	Artikulation des Vokals E	T18	Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte
T4	Artikulation des Vokals I	T19	lippengebremstes Ausatmen
T5	Artikulation des Vokals O	T20	maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer
T6	Artikulation des Vokals U	T21	Rümpfen der Nase
T7	Aufeinanderpressen der Lippen	T22	Hochziehen des rechten Mundwinkels
T8	Herabziehen der Mundwinkel	T23	Hochziehen des linken Mundwinkels
T9	Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln	T24	Hochziehen der Augenbrauen
T10	Herabziehen der Unterlippe	T25	Zusammenziehen der Augenbrauen
T11	Vorschieben der Unterlippe	T26	kraftvolles Verschließen der Augenlider
T12	Hochziehen der Oberlippe	T27	Blinzeln
T13	Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe	T28	kraftvolles Verschließen des rechten Augenlids
T14	Spitzen der Lippen	T29	kraftvolles Verschließen des linken Augenlids
T15	Aufblasen der Wangen		





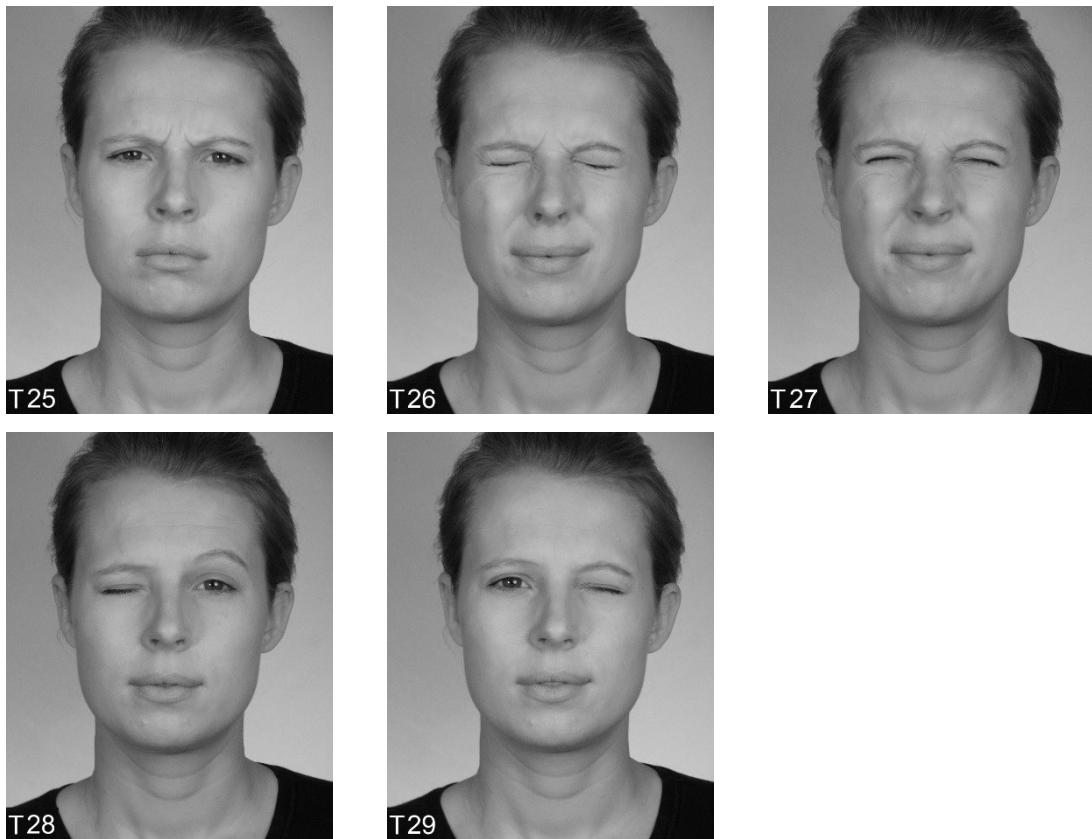


Abbildung 2: Übersicht aller mimischen Bewegungsaufgaben (T1-T29)

3.5 EMG-Analyse

Die registrierten Elektromyogramme wurden zunächst nach jeder mimischen Bewegungsaufgabe digital gespeichert. Der Beginn einer mimischen Bewegung sowie deren Ende wurden während der Messung bereits orientierend mit einem Marker gekennzeichnet. Im Rahmen der EMG-Auswertung wurde der Beginn der stationären EMG-Intervalle markiert und anschließend das gesamte Intervall visuell auf Artefakte kontrolliert. Innerhalb der EMG-Kurven wurden aufeinander folgende EMG-Intervalle in je 512 Einzelwerte unterteilt (entspricht 170 ms). Insgesamt wurden mindestens 40 EMG-Intervalle für jede mimische Bewegungsaufgabe in die weitere Auswertung einbezogen. Für diese EMG-Intervalle erfolgte die Quantifizierung mittels Leistungsspektralanalyse (Fast Fourier Transformation, ATISapro, GJB Datentechnik GmbH, Langewiesen, Germany) (Scholle et al. 1992, Schumann et al. 1994). Es wurde für jedes EMG-Intervall die spektrale EMG-Gesamtleistung (10-1500 Hz) berechnet. Zur Unterdrückung von 50 Hz-Interferenzen und deren Oberwellen wurde bei der Summation zur spektralen Gesamtleistung die Spektralleistungen bei 50, 100, 150, 200 und 250 Hz ausgelassen. Um die Werte der spektralen EMG-Gesamtleistung eines Probanden während einer Bewegungsaufgabe zu einem Wert zusammenzufassen, wurde zunächst der Median der EMG-Gesamtleistung jeder Elektrodenposition jeder motorischen Aufgabe jedes Probanden ermittelt. Die Quadratwurzel dieses Medians der EMG-Gesamtleistung (10 Hz - 1500 Hz) repräsentiert den Wert für die mittlere EMG-Amplitude (Schumann et al. 2010).

Berechnung normalisierter Referenzwerte für die weibliche und männliche Gruppe

Aus den mittleren EMG-Amplituden ($x_{s,t,e}$) aller Elektrodenpositionen (e) (E 1-44) einer motorischen Aufgabe (t) (T1-T29) eines Probanden (s) wurde der Median (M I) errechnet. Es ergaben sich für jede/-n Probanden/-in 29 einzelne Mediane (ein Median/Bewegungsaufgabe) - entsprechend den durchgeführten Bewegungen. Aus diesen 29 Medianen wurde erneut ein Median (M II = \tilde{x}_s) für jeden Probanden/-in gebildet. Der Median (M III = \tilde{x}) dieser 25 Mediane (M II = \tilde{x}_s) ergibt das allgemeine EMG-Aktivitätsniveau der Studie.

Zur Normalisierung der Daten erfolgte die Division der mittleren EMG-Amplituden (Wurzel aus EMG-Gesamtleistung ($x_{s,t,e}$)) durch den Median (M II = \tilde{x}_s) (Median eines Probanden/-in aller motorischen Aufgaben). Alle Quotienten wurden nun mit dem Median (M III = \tilde{x}) multipliziert.

$$x'_{s,t,e} = \frac{x_{s,t,e}}{\tilde{x}_s} * \tilde{x}$$

Berechnung von Seitenunterschieden

Die Berechnung individueller Seitenunterschiede erfolgte zwischen den bilateral-symmetrisch gelegenen Elektrodenpositionen ($\tilde{x}'_{s,e (links)}$ und $\tilde{x}'_{s,e (rechts)}$) für jede Probandin. Aus den mittleren EMG-Amplituden von allen symmetrisch durchgeführten motorischen Aufgaben (T1-T21, T24-T27) jeder Elektrodenposition (e) (E 1-44) jeder Probandin (s) wurde der Median ($\tilde{x}'_{s,e}$) berechnet. Der Vergleich der Elektrodenpaare erfolgte durch Division des größeren Medians durch den Kleineren. Die Darstellung erfolgt in Prozent. Ist ein Wert mit einem negativen Vorzeichen gekennzeichnet, registrierte die linksseitig platzierte Elektrode eine höhere EMG-Aktivität als die Rechte.

Es gilt:

wenn

$$\tilde{x}'_{s,e (links)} > \tilde{x}'_{s,e (rechts)}, \text{ dann } SU_{s,e} = \left(\frac{\tilde{x}'_{s,e (links)}}{\tilde{x}'_{s,e (rechts)}} * 100 - 100 \right) * (-1)$$

bzw. wenn

$$\tilde{x}'_{s,e (rechts)} > \tilde{x}'_{s,e (links)}, \text{ dann } SU_{s,e} = \frac{\tilde{x}'_{s,e (rechts)}}{\tilde{x}'_{s,e (links)}} * 100 - 100$$

3.6 Statistische Analyse

Statistische Analyse der weiblichen Probandengruppe:

Die Berechnung von Unterschieden zwischen den Bewegungsaufgaben, rechter und linker Gesichtsseite, superioren und inferioren sowie medialen und lateralen Elektrodenmesspunkten erfolgte durch die multivariate Varianzanalyse (ANOVA) und dem Wilcoxon-Test (parameterfreier Rangsummentest). Zur Analyse wurden die mittleren EMG-Amplituden (Wurzel aus EMG-Gesamtleistung) normalisiert (**3.5 EMG-Analyse**).

Statistischer Vergleich zwischen weiblicher und männlicher Probandengruppe:

Der Vergleich der EMG-Aktivität an einzelnen Elektrodenpositionen zwischen weiblicher und männlicher Probandengruppe erfolgte mittels Mann-Whitney-U-Test (Rangsummentest) und dem T-Test für ungepaarte Stichproben. Die Prüfung auf Normalverteilung wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt. Die mittleren EMG-Amplituden (Wurzel aus EMG-Gesamtleistung) aller Elektrodenposition für die

weibliche als auch für die männliche Probandengruppe waren normal verteilt. Die Bonferroni-Korrektur ($\alpha' = \alpha / n$) fand Anwendung, wenn die Tests zur Berechnung von Unterschieden zwischen mehreren ($n \geq 2$) Elektrodenpositionen genutzt wurden (multiple Testung). Die Alphafehlerkummulierung wurde so reduziert.

Die multivariate Varianzanalyse (ANOVA) wurde um dem Zwischensubjektfaktor (Geschlecht) ergänzt, um einen weiteren Vergleich zwischen den Probandengruppen zu ermöglichen.

Die statistische Auswertung und Darstellung erfolgte durch die Programme SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences, Version 21.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) und Excel® (Microsoft Office 2003).

3.7 Videoanalyse

Die während der Untersuchungsreihe von den Probandinnen durchgeführten motorischen Aufgaben wurden mittels Videoaufzeichnungen dokumentiert. Hiermit war es möglich individuelle Besonderheiten bei der Durchführung einzelner mimischer Bewegungen (z.B. das rechte Auge kann bei der motorischen Aufgabe „kraftvolles Verschließen des rechten Auges“ nicht geschlossen werden), aber auch sich wiederholende Ausführungsdifferenzen bei unterschiedlichen Probandinnen im Anschluss auszuwerten.

Vor Beginn der EMG-Registrierung wurde die korrekte Ausführung der jeweiligen motorischen Bewegung durch den Untersucher der Probandin demonstriert. Eine motorische Aufgabe wurde von jeder Probandin dreimal ausgeführt und aufgezeichnet. Dabei wurden alle drei Videosequenzen bewertet und das Ergebnis (Schulnote) schließlich gemittelt. Die Bewertung erfolgte subjektiv durch den Untersucher. Als Bewertungsmaßstab wurde das Schulnotensystem zugrunde gelegt (1 = sehr gut bis 6 = ungenügend). Als Orientierung der Bewertung galten auch die Fotos der dargestellten motorischen Aufgaben (**Abb.1**). Es wurden insgesamt 21 Probandinnen durch visuelle Analyse der Videoaufzeichnungen bewertet. Neben der korrekten Ausführung der motorischen Aufgabe wurde zudem die Anstrengung (Kraft) der Durchführung bewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Mittlere EMG-Amplituden der weiblichen Probandengruppe während der Artikulation und mimischer Bewegungsaufgaben

Die nachfolgende **Tabelle 4** zeigt eine Übersicht über die normalisierten mittleren EMG-Amplituden (Median; μV) für jede Elektrodenposition (1-44) bei allen durchgeführten motorischen Aufgaben (T1-T29) der weiblichen Probandengruppe. Es ist der jeweils kleinere EMG-Amplitudenwert im Vergleich zwischen den EMG-Registrierungen der auf der rechten und linken Gesichtseite paarig angeordneten Elektroden aufgelistet. **Tabelle 5** enthält die mittleren EMG-Amplitudenwerte für die Elektroden der rechten Gesichtshälfte. **Tabelle 6** stellt die normalisierten mittleren EMG-Amplituden für die linke Gesichtseite der weiblichen Gruppe dar. Zum Vergleich werden in der **Tabelle 7**, **Tabelle 8** und **Tabelle 9** die EMG-Referenzwerte der männlichen Probandengruppe gegenübergestellt.

Die lateral (3, 4) sowie die medial (1, 2) positionierten Elektroden über dem *M. frontalis* registrierten die höchste EMG-Aktivität beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)**. Weiterhin erfolgte eine starke Aktivierung des Muskels beim **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** und beim **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)**.

Sowohl die *Pars superioris* als auch die *Pars inferioris* des *M. orbicularis oculi* wurden an ihren lateralen (7, 8, 11, 12) und medialen (5, 6, 9, 10) Elektrodenmesspunkten beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** verstärkt aktiviert und die entsprechenden Elektroden registrierten hierbei die größte EMG-Aktivität.

Über den medianen (15, 16) und inferioren (17, 18) Elektrodenmesspunkten des *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* wurde die stärkste EMG-Aktivität beim **Rümpfen der Nase (T21)** registriert, über den superioren Elektrodenmesspunkten (13, 14) hingegen beim **Verschließen der Augenlider (T26)**. Weiterhin wurde eine hohe EMG-Aktivität dieser Muskelgruppe beim **Hochziehen der Oberlippe (T12)** und beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** erfasst.

An den Elektrodenmesspunkten (19-24) der *Mm. zygomatici major et minor* wurde die höchste EMG-Aktivität beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** gemessen.

Der *M. orbicularis oris pars superioris* erreichte beim **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)** an den medialen (25, 26) und lateralen (27, 28) Elektrodenpositionen die höchste EMG-Aktivität. Ebenfalls eine hohe EMG-Aktivität des Muskels wurde bei den motorischen Aufgaben **Spitzen der Lippen (T14)** und **Aufblasen der Wangen (T15)** registriert.

Die medial (29, 30) positionierten Elektroden über dem *M. orbicularis oris pars inferioris* erfassten die höchste EMG-Aktivität beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)**, die lateralen (31, 32) Elektroden beim **Spitzen der Lippen (T14)**.

Beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** wurde die höchste EMG-Aktivität über dem *M. mentalis* (33, 34, 39, 40) nachgewiesen. Eine hohe EMG-Aktivität des Muskels wurde ebenso **beim maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** verzeichnet.

Über den superioren (35, 36) und inferioren (41, 42) Elektrodenpositionen des *M. depressor labii inferioris* wurde die höchste EMG-Aktivität des Muskels beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** registriert. Weiterhin wurde eine hohe EMG-Aktivität beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** erfasst.

Der *M. depressor anguli oris* wurde an seinen superioren (37, 38) Messpunkten am stärksten beim **Vorschieben der Unterlippe (T11)** aktiviert. Beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** dagegen wurde der inferiore Anteil (43, 44) am stärksten aktiviert.

Ergebnisse

Tabelle 4: Normalisierte, mittlere EMG-Amplituden (Median, μV) für die **rechte und linke** Gesichtsseite der weiblichen Gruppe. Der kleinere Amplitudenwert der seitensymmetrisch angeordneten Elektroden ist jeweils dargestellt. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind **fett** markiert, der höchste Wert ist unterstrichen. Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

							mimischer Muskel/ Elektrodenposition															
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup.			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris	
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Epos links	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	39	35	41	37	43
Epos rechts	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	40	36	42	38	44
T1	17	19	17	17	21	21	21	22	24	24	27	26	25	27	42	35	52	42	31	50	25	29
T2	17	18	16	17	20	21	21	22	23	24	26	27	23	28	47	39	55	47	35	43	27	32
T3	16	18	15	15	18	18	19	21	22	22	24	25	22	24	46	37	56	40	37	54	26	32
T4	17	19	16	16	19	20	20	22	23	23	25	25	25	27	68	42	56	64	47	69	29	35
T5	18	18	17	16	21	21	22	31	45	20	21	23	57	86	51	80	49	42	48	43	55	46
T6	19	20	17	17	23	21	25	37	53	21	22	25	80	108	75	105	59	55	63	56	63	60
T7	21	22	22	21	30	28	35	40	50	55	64	69	83	111	102	113	96	88	80	84	91	100
T8	23	22	19	20	25	25	27	32	35	36	39	38	39	53	74	95	120	143	98	94	78	106
T9	26	28	25	26	32	33	38	35	37	87	98	87	51	66	204	124	177	121	136	196	71	95
T10	19	20	18	18	21	21	24	25	27	26	29	31	34	43	239	145	346	220	166	248	92	141
T11	19	19	19	19	24	22	27	38	55	23	26	29	97	117	74	86	167	193	102	104	122	147
T12	21	21	21	21	34	30	41	63	81	28	29	27	58	73	62	65	57	44	53	54	35	42
T13	26	27	23	23	35	30	41	53	59	37	41	41	83	84	280	195	340	162	223	322	95	148
T14	20	20	20	19	28	24	31	55	76	23	26	29	129	178	176	288	105	84	117	87	88	75
T15	22	24	23	23	27	26	30	44	61	33	36	36	134	151	148	189	120	110	84	66	56	55
T16	22	22	23	22	26	24	29	44	64	22	25	26	111	118	95	112	120	115	78	64	58	52
T17	20	20	19	19	28	23	30	51	72	20	24	27	157	193	153	261	112	84	116	108	103	86
T18	17	17	17	17	18	18	19	26	35	19	21	22	49	59	44	44	89	99	49	55	42	43
T19	17	18	16	17	21	19	22	35	53	20	22	24	70	75	75	94	69	70	43	41	36	30
T20	31	35	28	28	47	47	66	64	70	107	114	90	88	117	352	274	303	175	255	349	118	191
T21	39	29	24	20	43	29	41	104	122	26	28	26	50	56	46	61	60	47	36	33	29	28
T24	40	43	17	17	17	18	17	18	19	19	20	19	19	20	20	20	21	21	19	21	17	17
T25	55	51	25	18	21	19	21	35	41	17	18	17	20	20	21	21	23	22	18	19	17	17
T26	80	116	185	172	245	189	67	40	31	26	25	23	25	29	25	27	31	25	23	26	20	20
T27	23	22	25	23	71	51	20	18	18	17	18	17	17	18	19	21	23	20	19	19	16	16

Ergebnisse

Tabelle 5: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μV) für die **rechte** Gesichtseite der **weiblichen Gruppe**. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind **fett** markiert, der höchste Wert ist unterstrichen. Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

	mimischer Muskel/ Elektrodenposition																					
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup. alaeque nasi			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris	
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Epos rechts	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	40	36	42	38	44
T1	17	20	17	17	21	21	21	22	24	24	27	26	25	27	42	35	56	42	38	50	25	30
T2	17	18	16	17	21	21	21	23	23	24	26	27	23	28	54	40	59	47	47	59	27	32
T3	16	18	15	15	19	18	19	21	22	23	24	25	22	24	49	37	60	40	46	59	26	32
T4	17	19	16	16	20	20	21	23	23	23	25	25	25	28	68	43	56	65	53	78	31	36
T5	19	18	17	16	22	21	24	31	45	22	23	25	58	86	51	80	50	43	48	46	55	46
T6	19	20	18	17	23	21	25	37	53	21	23	25	80	108	75	105	60	56	63	61	63	63
T7	21	22	22	21	30	29	35	41	50	55	64	69	83	111	102	133	98	111	80	84	102	100
T8	23	23	20	20	25	25	27	35	40	36	39	38	39	53	75	96	120	163	98	100	78	106
T9	26	28	25	26	34	33	42	35	39	100	106	87	51	77	240	157	177	121	162	196	85	119
T10	19	20	18	18	22	21	24	25	27	27	31	31	34	43	239	171	346	220	223	248	103	160
T11	19	20	19	19	24	22	28	38	55	25	27	29	105	133	74	86	180	229	102	104	135	147
T12	21	21	21	21	34	32	41	65	81	29	29	30	58	73	62	65	60	44	58	54	37	42
T13	26	27	23	23	35	30	41	53	59	43	43	41	83	90	280	208	340	162	249	322	104	185
T14	20	21	20	19	29	25	31	55	76	26	28	30	138	203	176	288	113	84	117	87	88	83
T15	22	24	24	24	27	26	31	44	63	37	40	39	141	151	148	189	126	113	90	76	62	55
T16	22	22	23	22	27	25	30	44	66	24	26	27	126	118	95	126	120	115	78	75	58	58
T17	20	20	20	20	29	24	30	51	72	24	26	29	157	195	153	261	112	84	116	109	103	86
T18	17	18	17	17	19	18	19	26	35	19	21	22	49	59	47	44	96	100	55	55	46	43
T19	18	18	17	17	21	19	22	35	53	21	23	24	70	75	78	95	72	73	46	44	37	30
T20	31	35	28	28	47	48	66	68	71	107	120	95	94	117	352	285	303	175	288	376	146	198
T21	39	29	24	20	48	35	41	104	135	27	28	26	52	56	46	63	60	52	39	37	29	28
T22	20	22	21	22	26	30	34	28	31	75	77	73	43	69	54	80	45	41	45	44	53	42
T23	17	19	18	18	22	23	25	25	28	26	28	28	34	31	42	39	43	41	35	36	31	29
T24	40	43	17	17	17	18	18	18	20	19	20	19	19	20	21	21	21	21	19	21	17	17
T25	60	59	29	18	21	20	22	35	49	18	18	18	20	20	21	21	25	22	18	23	17	17
T26	88	116	207	207	259	201	91	40	31	29	25	23	27	31	25	27	31	25	23	26	20	20
T27	23	24	25	23	71	60	26	18	18	20	18	17	18	20	20	21	23	20	19	19	16	16
T28	34	44	45	38	129	100	51	27	25	25	23	21	21	23	22	21	22	20	21	22	19	19
T29	24	24	18	19	37	29	19	17	19	17	18	18	19	19	21	22	23	22	19	19	16	18

Ergebnisse

Tabelle 6: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μV) für die **linke** Gesichtsseite der **weiblichen Gruppe**. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind **fett** markiert, der höchste Wert ist unterstrichen. Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

	mimischer Muskel/ Elektrodenposition																					
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup. alaeque nasi			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris	
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Epos links	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	39	35	41	37	43
T1	17	19	17	17	21	22	21	23	24	24	28	30	25	30	43	36	52	44	31	51	26	29
T2	18	19	17	17	20	21	21	22	24	26	30	30	25	29	47	39	55	52	35	43	27	33
T3	16	18	16	16	18	20	20	22	23	22	26	27	23	26	46	42	56	53	37	54	28	32
T4	18	19	16	16	19	21	20	22	23	23	28	26	26	27	72	42	69	64	47	69	29	35
T5	18	20	17	17	21	21	22	37	50	20	21	23	57	89	61	84	49	42	51	43	58	51
T6	19	20	17	18	23	22	25	40	59	21	22	25	81	108	76	111	59	55	68	56	69	60
T7	21	22	22	22	30	28	36	40	51	60	70	76	97	114	102	113	96	88	84	86	91	106
T8	23	22	19	23	26	26	28	32	35	38	39	40	42	55	74	95	137	143	101	94	87	108
T9	27	31	25	28	32	35	38	36	37	87	98	88	52	66	204	124	222	122	136	210	71	95
T10	19	20	18	20	21	22	24	26	28	26	29	32	38	43	270	145	387	223	166	263	92	141
T11	20	19	19	19	24	22	27	44	61	23	26	32	97	117	85	90	167	193	102	122	122	166
T12	21	22	21	21	35	30	45	63	86	28	29	27	70	76	62	68	57	47	53	54	35	42
T13	26	29	24	24	35	30	46	61	60	37	41	42	83	84	318	195	370	204	223	324	95	148
T14	21	20	21	21	28	24	34	57	77	23	26	29	129	178	178	306	105	87	134	90	95	75
T15	23	24	23	23	28	26	30	47	61	33	36	36	134	153	155	197	120	110	84	66	56	55
T16	23	23	23	23	26	24	29	45	64	22	25	26	111	126	124	112	127	115	80	64	58	52
T17	21	20	19	19	28	23	30	51	77	20	24	27	165	193	153	271	115	87	120	108	106	87
T18	18	17	17	17	18	18	20	29	35	20	21	22	53	67	44	46	89	99	49	55	42	47
T19	17	18	16	17	21	19	22	37	66	20	22	24	70	83	75	94	69	70	43	41	36	35
T20	31	36	29	31	51	47	66	64	70	119	114	90	88	121	368	274	304	219	255	349	118	191
T21	39	33	25	22	43	29	46	105	122	26	28	28	50	60	49	61	60	47	36	33	30	28
T22	20	20	19	20	23	22	23	25	27	26	29	28	33	36	47	42	44	41	35	34	31	30
T23	20	23	21	23	27	31	34	28	33	71	88	83	40	61	51	80	49	46	54	44	55	49
T24	41	52	18	20	18	19	17	18	19	19	20	20	19	21	20	20	25	21	20	21	19	18
T25	55	51	25	20	22	19	21	41	41	17	19	17	20	21	22	21	23	22	19	19	19	19
T26	80	118	185	172	245	189	67	46	35	26	25	25	25	29	28	27	31	26	23	26	22	21
T27	23	22	26	25	73	51	20	20	18	17	18	18	17	18	19	21	23	21	19	19	20	18
T28	24	24	21	21	45	27	18	20	19	18	19	18	20	21	21	21	23	22	20	19	19	19
T29	33	41	44	37	116	105	43	27	22	27	24	22	20	21	21	21	24	23	20	22	20	20

Ergebnisse

Tabelle 7: Normalisierte, mittlere EMG-Amplituden (Median, μV) für die **rechte und linke** Gesichtsseite der **männlichen Gruppe**. Der kleinere Amplitudenwert der seitensymmetrisch angeordneten Elektroden ist jeweils dargestellt. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind **fett** markiert, der höchste Wert ist unterstrichen. Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

							mimischer Muskel/ Elektrodenposition															
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup.			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris	
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Epos links	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	39	35	41	37	43
Epos rechts	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	40	36	42	38	44
T1	15	17	16	16	20	20	20	21	21	20	22	24	23	27	41	32	49	35	40	37	20	23
T2	16	16	16	15	20	21	21	24	25	22	24	27	25	27	56	40	64	44	69	58	28	31
T3	15	15	15	15	20	20	20	21	22	21	24	25	24	29	70	42	74	47	66	69	30	38
T4	16	16	15	15	19	19	19	21	20	20	23	24	24	28	64	43	60	39	59	60	27	33
T5	14	14	15	14	19	19	20	24	32	19	22	24	50	75	99	183	52	43	69	50	52	53
T6	15	15	15	15	22	18	22	29	38	20	23	25	67	91	104	184	56	45	70	52	57	57
T7	20	20	22	21	36	34	45	52	69	65	87	101	132	174	134	171	133	131	110	91	140	183
T8	19	21	20	20	24	24	27	29	33	31	32	34	39	49	117	147	102	91	107	87	83	116
T9	23	25	23	24	39	47	49	41	44	110	121	94	64	95	96	94	80	62	79	77	59	58
T10	15	15	16	15	18	18	21	22	23	22	24	25	28	32	277	141	255	128	210	238	77	95
T11	17	17	18	17	25	22	25	38	49	24	26	28	100	97	82	94	175	218	99	107	89	155
T12	20	19	21	17	35	28	47	74	80	27	26	24	57	67	84	75	63	47	67	64	34	42
T13	25	24	25	21	41	30	47	90	88	30	29	29	75	80	215	163	258	151	200	206	73	117
T14	17	16	18	17	30	24	33	50	72	27	31	35	138	166	191	280	92	72	124	89	87	83
T15	18	19	19	19	26	26	29	38	48	35	39	44	118	115	152	136	92	84	87	72	50	50
T16	20	19	20	19	23	22	25	36	46	23	24	26	82	84	97	89	77	70	73	63	41	43
T17	15	14	16	15	22	19	26	36	52	23	25	28	94	104	134	182	78	58	93	69	60	68
T18	17	16	18	18	21	19	22	30	41	22	24	28	64	72	84	74	111	103	71	76	51	63
T19	14	13	15	14	21	18	24	34	50	23	28	31	92	103	122	164	73	56	78	59	47	52
T20	33	32	29	27	56	45	64	65	72	61	72	72	76	101	298	190	199	95	215	186	71	109
T21	38	27	29	24	69	34	66	152	130	28	27	26	53	55	33	33	38	34	26	26	23	20
T24	61	55	19	18	13	13	12	12	12	13	14	14	11	12	11	11	13	12	10	11	11	10
T25	66	64	45	24	17	15	15	20	20	13	13	13	14	13	12	12	15	13	12	11	10	10
T26	116	136	190	190	198	154	71	43	34	32	26	22	23	24	18	19	18	16	16	16	16	15
T27	25	31	31	23	64	38	22	18	16	16	15	14	14	16	15	15	19	18	15	14	12	12

Ergebnisse

Tabelle 8: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μV) für die **rechte** Gesichtsseite der **männlichen Gruppe**. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind **fett** markiert, der höchste Wert ist unterstrichen. Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

Epos	mimischer Muskel/ Elektrodenposition																					
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup. alaeque nasi			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris	
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	40	36	42	38	44
T1	18	18	17	17	20	20	20	21	21	20	22	24	23	27	41	32	49	40	22	35	42	25
T2	17	17	16	16	20	22	21	24	25	22	24	27	27	27	66	45	64	73	28	47	63	34
T3	16	16	15	15	20	20	20	22	22	21	24	25	24	29	70	46	74	69	30	47	69	38
T4	16	16	16	15	19	19	21	22	20	20	23	24	24	28	64	44	60	59	28	39	60	36
T5	16	15	15	14	19	19	20	24	32	20	22	24	50	79	99	183	54	70	53	43	50	55
T6	17	16	16	15	22	18	22	29	38	20	23	25	67	93	104	191	59	75	57	45	55	57
T7	20	20	22	21	39	35	45	52	69	66	87	106	147	188	134	180	133	113	146	131	91	183
T8	20	22	20	20	24	24	27	29	33	32	34	34	39	49	117	147	102	107	83	91	87	116
T9	23	25	23	24	39	47	49	42	44	110	121	94	65	95	96	94	82	79	59	65	77	58
T10	15	16	16	15	19	18	21	22	23	22	24	25	28	33	277	173	255	217	77	128	253	117
T11	18	17	18	17	25	23	25	38	54	24	26	28	100	127	82	94	175	99	96	218	127	155
T12	20	20	21	19	39	30	47	74	84	27	26	24	57	71	84	81	63	68	39	47	64	42
T13	26	24	25	21	42	30	48	90	102	30	29	29	75	86	215	176	258	200	73	176	228	121
T14	17	16	18	17	30	24	34	50	75	27	31	40	138	166	191	341	98	131	108	74	89	96
T15	19	19	19	19	26	26	29	39	49	35	39	45	118	132	152	171	96	94	55	89	74	55
T16	21	19	20	19	23	22	25	36	47	23	24	26	82	93	97	89	88	75	41	74	67	43
T17	16	15	16	15	22	19	26	36	53	24	28	34	107	126	140	231	78	103	75	61	78	76
T18	20	19	18	18	22	19	23	30	41	22	24	28	69	82	84	91	126	78	54	103	84	63
T19	16	15	15	15	22	18	24	35	50	24	28	32	92	103	122	183	73	82	53	57	59	55
T20	33	32	29	28	56	45	64	67	72	61	80	72	76	102	305	204	199	215	76	123	197	109
T21	39	37	34	24	82	36	78	158	140	28	27	26	53	55	33	36	38	29	23	38	29	20
T22	19	20	19	21	43	43	50	39	43	96	96	74	51	75	48	56	40	46	36	36	42	34
T23	18	18	18	17	21	21	22	24	25	24	25	26	33	30	41	38	39	34	23	33	30	23
T24	64	63	19	19	13	14	12	12	12	13	14	14	11	12	11	11	14	12	11	12	12	10
T25	66	68	47	26	17	15	15	20	20	13	13	13	14	13	12	12	15	12	10	13	13	10
T26	116	136	190	190	198	154	74	47	34	33	26	22	23	25	19	20	18	17	16	19	17	15
T27	25	31	33	23	68	38	22	18	16	16	15	14	15	16	15	15	22	16	12	19	16	12
T28	43	50	53	47	137	99	52	30	25	28	24	23	18	24	19	20	24	20	18	22	20	18
T29	27	31	26	23	28	21	15	17	19	13	13	13	16	16	19	16	21	18	14	20	19	14

Ergebnisse

Tabelle 9: Normalisierte mittlere EMG-Amplituden (Median, μV) für die **linke** Gesichtseite der **männlichen Gruppe**. Die drei höchsten EMG-Amplituden pro Elektrodenposition sind **fett** markiert, der höchste Wert ist unterstrichen. Die Kopfzeile benennt die untersuchten mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

	mimischer Muskel/ Elektrodenposition																					
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup. alaeque nasi			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris	
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
Epos links	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	39	35	41	37	43
T1	15	17	16	16	22	21	21	22	23	21	24	27	25	27	43	34	50	41	20	38	37	23
T2	16	16	16	15	22	21	24	26	26	22	26	28	25	27	56	40	67	69	28	44	58	31
T3	15	15	15	15	21	20	20	21	24	22	25	26	28	29	79	42	78	66	30	49	69	38
T4	16	16	15	15	20	20	19	21	21	22	23	26	26	28	68	43	64	59	27	44	64	33
T5	14	14	15	15	21	19	22	28	34	19	22	26	50	75	117	183	52	69	52	44	50	53
T6	15	15	15	15	23	19	23	32	47	21	24	26	68	91	116	184	56	70	61	47	52	68
T7	21	20	22	22	36	34	45	56	75	65	90	101	132	174	147	171	136	110	140	133	117	209
T8	19	21	20	20	27	26	28	31	35	31	32	34	41	53	124	153	104	129	103	96	119	132
T9	22	25	23	24	43	57	62	41	49	128	123	108	64	103	108	116	80	80	63	62	80	62
T10	15	15	16	15	18	18	22	23	23	22	25	28	33	32	306	141	268	210	68	135	238	95
T11	17	17	18	18	26	22	27	39	49	24	27	30	104	97	95	107	180	101	89	218	107	177
T12	21	19	21	17	35	28	48	76	80	27	26	27	60	67	87	75	71	67	34	47	72	43
T13	25	25	26	21	41	32	47	91	88	31	31	31	90	80	257	163	308	209	79	151	206	117
T14	17	16	18	17	30	25	33	53	72	28	33	35	144	168	222	280	92	124	87	72	92	83
T15	18	19	20	19	28	25	32	38	48	35	39	44	121	115	157	136	92	87	50	84	72	50
T16	20	20	21	20	25	22	27	37	46	24	26	29	93	84	107	103	77	73	44	70	63	45
T17	15	14	16	15	24	20	27	39	52	23	25	28	94	104	134	182	79	93	60	58	69	68
T18	17	16	18	18	21	19	22	30	41	22	25	29	64	72	87	74	111	71	51	111	76	70
T19	14	13	15	14	21	18	25	34	50	23	28	31	92	104	145	164	70	78	47	56	64	52
T20	33	33	30	27	64	53	71	65	77	89	72	74	76	101	298	190	243	236	71	95	186	109
T21	38	27	29	24	69	34	66	152	130	31	27	26	56	55	33	33	39	26	24	34	26	24
T22	16	17	18	18	20	19	21	22	25	24	24	27	31	29	33	30	34	32	24	31	28	25
T23	20	23	20	21	40	52	56	36	48	116	121	91	63	100	55	64	42	41	46	33	41	41
T24	61	55	20	18	14	13	13	12	12	14	15	15	12	13	11	12	13	10	11	12	11	10
T25	77	64	45	24	19	15	16	22	23	13	13	13	14	13	12	13	15	13	11	13	11	11
T26	102	153	214	202	236	160	71	43	34	32	27	24	23	24	18	19	18	16	17	16	16	17
T27	31	33	31	26	64	43	24	21	17	17	15	16	14	17	17	16	19	15	13	18	14	13
T28	28	32	23	18	27	25	15	18	17	14	15	16	15	16	17	17	20	17	16	18	17	16
T29	45	65	60	49	147	107	93	52	33	41	24	22	18	21	21	22	21	20	22	19	20	20

4.2 EMG-Aktivitätsprofile der weiblichen und männlichen Probandengruppe

Die EMG-Aktivität einzelner Elektrodenpositionen wurde miteinander verglichen (lateral zu medial, superior zu inferior). Die statistische Auswertung der EMG-Aktivität der weiblichen Probanden mittels multivariater Varianzanalyse (ANOVA, wiederholte Messungen) sowie parameterfreiem Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben folgen den EMG-Aktivitätsprofilen der mimischen Bewegungen (Boxplots T1-T29) der weiblichen Probanden (*ab Seite 37*).

Die registrierten myoelektrischen Potenziale aktiver Muskelgruppen jeder Bewegungsaufgabe wurden auf Seitenunterschiede (linke/rechte Gesichtshälfte) geprüft (*ab Seite 42*).

Außerdem wurde die EMG-Aktivität einzelner Elektrodenpositionen der weiblichen und männlichen Probandengruppe verglichen. Die statistische Auswertung erfolgte hierbei mittels parameterfreiem Mann-Whitney-U-Test. Die Ergebnisse multipler Fragestellungen (EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen mehreren Elektrodenpositionen) wurden Bonferroni ($\alpha' = \alpha / n$) korrigiert (*ab Seite 46*).

Die im Folgenden als Boxplot dargestellten EMG-Aktivitätsprofile geben für jede motorische Aufgabe (T1-T29) einen Überblick über die Höhe der EMG-Aktivität (mittlere EMG-Amplitude in μV , x-Achse) jeder einzelnen Elektrodenposition (y-Achse) an. Die Darstellung ermöglicht einen Seitenvergleich. Auf den Fotos wird die jeweilige motorische Aufgabe demonstriert (*ab Seite 50*).

4.2.1 Analyse der EMG-Aktivitätsprofile der weiblichen Probandengruppe

T1-T6:

Bei der Artikulation der Vokale **A**, **Ä**, **E**, **I**, **O** und **U** (**T1-T6**) wurde eine hohe EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* (*Pars superioris et inferioris*) sowie des *M. mentalis* und des *M. depressor labii inferioris* registriert.

Während bei der Artikulation der Vokale **A**, **Ä**, **E** und **I** (**T1-T4**) die *Pars inferioris* des *M. orbicularis oris* (29-32) eine verstärkte EMG-Aktivität aufwies (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$), bestanden bei der Artikulation von **O** und **U** (**T5, T6**) keine EMG-

Aktivitätsunterschiede (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.) zwischen dem superioren und inferioren Anteil dieses Muskels (25-32).

Bei der Artikulation von **O** und **U** (**T5**, **T6**) zeigte auch der *M. levator labii et aleque nasi* (13-18) eine hohe EMG-Aktivität.

Sowohl bei der Aufgabe **T5** als auch **T6** bestanden keine Unterschiede der mittleren EMG-Amplituden zwischen den medialen und lateralen Elektrodenpositionen des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferiors* und *M. mentalis* (33-44) (ANOVA, wiederholte Messungen: n.s.; Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.). Bei den Aufgaben **T1-T4** wurden Unterschiede in der EMG-Aktivität zwischen den medialen und lateralen Elektrodenpositionen nachgewiesen (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T7-T9:

Die mimischen Bewegungen **Aufeinanderpressen der Lippen (T7)**, **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** und **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** wiesen alle eine verstärkte EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* (25-32) und des *M. mentalis* (33, 34 und 39, 40) auf. Die *Mm. zygomaticii* (19-24) wurden beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** aktiviert.

Das EMG-Aktivitätsniveau beim **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** und beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** zwischen der *Pars superioris* und *inferioris* des *M. orbicularis oris* war different (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Ebenso wurden für den *M. orbicularis oris* Differenzen in der EMG-Aktivität zwischen den medialen und lateralen Elektrodenpositionen bei den Testaufgaben **T7**, **T8** und **T9** nachgewiesen (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Außerdem wurde eine erhöhte EMG-Aktivität im Bereich des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und des *M. mentalis* (33-44) registriert. Zwischen den superioren und inferioren Elektroden dieser Muskelgruppe (33-44) bestand beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** eine unterschiedliche EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** sind in besonderem Maße die *Mm. zygomaticii* (19-24) aktiv. Dabei wurden EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den vertikal verlaufenden Elektroden der linken Gesichtsseite (19, 21, 23) festgestellt (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Die multivariate Varianzanalyse erbrachte beidseits

Unterschiede im EMG-Aktivitätsniveau zwischen den von superiorer nach inferiorer angeordneten Elektroden (rechts: 20, 22, 24 und links: 19, 21, 23) (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$).

T10-T13:

Herabziehen der Unterlippe (T10), Verschieben der Unterlippe (T11), Hochziehen der Oberlippe (T12) und Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13) sind mimische Bewegungen, bei denen der *M. orbicularis oris* (25-32) und der *M. mentalis* (33, 34, und 39, 40) erhöhte EMG-Aktivität aufwiesen.

Während beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)**, beim **Verschieben der Unterlippe (T11)** und beim **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)** ein EMG-Aktivitätsunterschied zwischen dem oberen und unteren Anteil des *M. orbicularis oris* (25-32) nachgewiesen wurde (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$), fand sich kein Unterschied zwischen den genannten Muskelanteilen beim **Hochziehen der Oberlippe (T12)** (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.).

Beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** und **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)** bestand ein Unterschied im EMG-Aktivitätsniveau zwischen den medial und lateral angeordneten Elektroden des *M. orbicularis oris* (25-32) (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Eine Koaktivierung der *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* (13-18) wurde beim **Hochziehen der Oberlippe (T12)** und **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)** durch eine erhöhte EMG-Aktivität nachgewiesen.

Die EMG-Aktivität des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und *M. mentalis* (33-44) war bei den motorischen Aufgaben **T11** und **T13** zwischen den superioren und inferioren sowie zwischen den medialen und lateralen gelegenen Elektroden unterschiedlich (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T14-T19:

Die motorischen Aufgaben **Spitzen der Lippen (T14)**, **Aufblasen der Wangen (T15)**, **Einziehen der Wangen (T16)**, **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)**, **Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte (T18)** und **lippengebremstes Ausatmen (T19)** zeigten ähnliche EMG-Aktivitätsmuster. Hierbei wies vor allem der *M. orbicularis oris* (25-32) eine vermehrte EMG-Aktivität auf. Geringere muskuläre Erregungen waren über den Elektroden des *M. levator labii superioris et alaeque nasi* (15-18) sowie unterhalb der

Mundspalte über dem *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und *M. mentalis* (33-44) nachweisbar.

Zwischen dem superioren und dem inferioren Anteil des *M. orbicularis oris* (25-32) ergab sich beim **Spitzen der Lippen (T14)**, **Aufblasen der Wangen (T15)**, **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)** und beim **lippengebremsten Ausatmen (T19)** eine unterschiedliche EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Zwischen den Elektroden in medial-lateraler Orientierung waren die registrierten EMG-Aktivitäten des *M. orbicularis oris* (25-32) während **T14**, **T17** und **T19** unterschiedlich (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Die motorischen Aufgaben **T14-T19** wiesen EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den superior und inferior gelegenen Elektrodenpositionen des *M. levator labii superioris et alaeque nasi* (15-18) sowie zwischen den superior und inferior gelegenen Elektroden des *M. mentalis*, *M. depressor labii inferioris* und *M. depressor anguli oris* (33-44) auf (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T20:

Bei der motorischen Aufgabe **maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** wurde eine hohe EMG-Aktivität im Bereich des inferioren Teils des *M. orbicularis oris* (29-32), des *M. mentalis* (33, 34 und 39, 40), des *M. depressor labii inferioris* (35, 36, 41, 42) und des *M. zygomaticus* (19-24) registriert.

Der inferiore Anteil des *M. orbicularis oris* (25-32) wies eine höhere EMG-Aktivität als der superiore Anteil (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) auf. Die in horizontaler Richtung benachbarten Elektroden einer Gesichtseite des *M. orbicularis oris* (25-32) wiesen ebenfalls EMG-Aktivitätsunterschiede auf (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Die EMG-Aktivitäten zwischen den superioren und inferioren Elektroden des *M. depressor anguli oris* (37, 38 und 43, 44) als auch des *M. depressor labii inferioris* (35, 36 und 41, 42) und *M. mentalis* (33, 34 und 39, 40) waren unterschiedlich (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Ebenso konnten Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen den Elektrodenpositionen des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris*, *M. mentalis* (33-44) nachgewiesen werden (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T21:

Beim **Rümpfen der Nase (T21)** war der *M. levator labii superioris et alaeque nasi* (13-18) am stärksten aktiviert. Der inferiore Teil des *M. orbicularis oculi* (9-12) und der *M. orbicularis oris* (25-32) wurden geringfügig koaktiviert.

Zwischen den drei superior, medial und inferior gelegenen Elektroden des *M. levator labii superioris et alaeque nasi* (13-18) einer Gesichtshälfte bestanden signifikante Unterschiede hinsichtlich der registrierten EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T22-T23:

Während den einseitig ausgeführten motorischen Aufgaben **Hochziehen des rechten (T22)** und **Hochziehen des linken Mundwinkels (T23)** wurden die ipsilateralen *Mm. zygomatici major et minor* (19-24) aktiviert. Eine geringe Koaktivierung zeigte der *M. orbicularis oris* (25-32).

Zwischen den superior, medial und inferioren Elektrodenpositionen der *Mm. zygomatici major et minor* (19, 21, 23 und 20, 22, 24) der ipsilateralen Gesichtseite wurde eine unterschiedlich hohe EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) registriert.

T24-T27:

Bei den motorischen Aufgaben **Hochziehen der Augenbrauen (T24)**, **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)**, **kraftvolles Verschließen der Augenlider (T26)** und beim **Blinzeln (T27)** wurde überwiegend über den Elektroden des *M. frontalis* (1-4) und des *M. orbicularis oculi* (5-12) erhöhte EMG-Aktivität registriert.

Zwischen den medialen und lateralen Elektroden des *M. frontalis* einer Gesichtseite (rechts 2, 4 und links 1, 3) bestanden signifikante Differenzen der EMG-Aktivität bei den Bewegungen **T24**, **T26** und **T27** (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Zwischen den an der *Pars superioris* und *Pars inferioris* des *M. orbicularis oculi* (5-12) registrierten EMG-Aktivitäten traten lediglich Unterschiede beim **Blinzeln (T27)** auf (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Zwischen den medial und lateral gelegenen Elektroden der *Pars superioris* und der *Pars inferioris* des *M. orbicularis oculi* (5-12) zeigten sich Unterschiede im EMG-Aktivitätsniveau bei der motorischen Aufgabe **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)** (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** bestanden EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen

den medial und lateral gelegenen Elektroden der *Pars inferioris* des *M. orbicularis oculi* (9-12) (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T28-T29:

Die unilateral ausgeführten Bewegungsaufgaben **kraftvolles Verschließen des rechten Augenlids (T28)** und **kraftvolles Verschließen des linken Augenlids (T29)** zeigten eine hohe EMG-Aktivität des *M. frontalis* (1-4) und des *M. orbicularis oculi* (5-12) der ipsilateralen Gesichtsseite.

Es ergaben sich Differenzen der EMG-Aktivität zwischen der *Pars superioris* (5-8) und der *Pars inferioris* (9-12) des *M. orbicularis oculi* der ipsilateralen Gesichtsseite (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) bei der jeweiligen motorischen Aufgabe. Zwischen den medialen (6, 10) und lateralen (8, 12) Elektroden des *M. orbicularis oculi* bestanden beim **kraftvollen Verschließen des rechten Augenlids (T28)** EMG-Aktivitätsunterschiede (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Zwischen den medialen und lateralen Elektroden des *M. frontalis* (1-4) der ipsilateralen Gesichtsseite bestanden Unterschiede der EMG-Aktivität beim **kraftvollen Verschließen des rechten Augenlids (T28)** und **kraftvollen Verschließen des linken Augenlids (T29)** (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

4.2.2 Prozentuale Unterschiede der mittleren EMG-Amplituden zwischen rechter und linker Gesichtsseite bei den weiblichen Probanden

Die mittleren individuellen EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den Muskeln der rechten und linken Gesichtsseite der weiblichen Probandengruppe wurden als prozentuale Unterschiede dargestellt (**Tabelle 10**). Eine Ausreißerbehandlung fand nicht statt.

Bei 14 von 25 Probandinnen bestanden Seitenunterschiede von $> 30\%$ bei einzelnen symmetrisch angeordneten Elektrodenpaaren, bei 6 von 25 Probandinnen ein Unterschied von $> 40\%$.

Die statistische Prüfung der Seitenunterschiede der einzelnen Bewegungsaufgaben wurde mittels multivariater Varianzanalyse (ANOVA, wiederholte Messungen) und Wilcoxon-Test durchgeführt.

T22-T23 und T28-T29:

Wie zu erwarten, bestanden bei den unilateral ausgeführten mimischen Bewegungen signifikante Unterschiede zwischen rechter und linker Gesichtsseite im EMG-

Aktivitätsniveau (**T22** und **T23**; **T28** und **T29** ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T24:

Die registrierte EMG-Aktivität der Elektroden des *M. frontalis* (1-4) zeigten Unterschiede beim **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** zwischen linker und rechter Gesichtsseite (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$, Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T26:

Beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** besteht ebenso ein Seitenunterschied der EMG-Aktivität zwischen der linken und rechten Gesichtsseite des *M. frontalis* (ANOVA, wiederholte Messungen: $p < 0,05$, Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Weitere Seitenunterschiede der mittleren EMG-Amplituden der weiblichen Probandengruppe wurden nicht festgestellt (ANOVA, wiederholte Messungen: n.s.).

Ergebnisse

Tabelle 10: Prozentuale, individuelle Seitenunterschiede der weiblichen Probanden (n=25, P1-P25) bezogen auf die mittleren EMG-Amplituden aller symmetrischen Testaufgaben (T1-T21; T24-T27) für jede Elektrodenposition (1-44).



Ergebnisse

Tabelle 11: Prozentuale individuelle Seitenunterschiede (P1-P25) bezogen auf die mittleren EMG-Amplituden aller symmetrischen Testaufgaben (T1-T21; T24-T27). Negative Werte zeigen eine höhere prozentuale EMG-Aktivität der linken Gesichtsseite an, positive Werte eine höhere prozentuale EMG-Aktivität der rechten Gesichtsseite. Alle Werte über 30% Abweichung sind **fett** markiert. Die Kopfzeile benennt die mimischen Muskeln mit den dazugehörigen Elektrodenpositionen (Epos) und deren Lage (med. = medial, lat. = lateral, sup. = superior, inf. = inferior).

							mimischer Muskel/ Elektrodenposition																
	M. frontalis		M. orbicularis oculi pars superior		M. orbicularis oculi pars inferior		Mm. levator labii sup.			Mm. zygomatici			M. orbicularis oris pars superior		M. orbicularis oris pars inferior		M. mentalis		M. depressor labii		M. depressor anguli oris		
	med.	lat.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	median	inf.	sup.	median	inf.	med.	lat.	med.	lat.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	
Epos	1/2	3/4	5/6	7/8	9/10	11/12	13/14	15/16	17/18	19/20	21/22	23/24	25/26	27/28	29/30	31/32	33/34	39/40	35/36	41/42	37/38	43/44	
P1	-8	2	-1	4	-7	-1	-25	-49	-4	-7	-19	-14	-24	-1	-29	1	7	-13	-19	3	4	1	
P2	1	4	27	-39	14	22	87	-47	1	-18	-1	-15	2	-36	-9	15	1	7	3	37	14	3	
P3	-3	4	4	17	-2	-12	10	-3	-17	-10	2	-5	42	34	15	-17	1	-16	15	20	11	33	
P4	17	4	-1	-24	13	6	21	-18	-21	-1	-9	-3	17	-1	-18	-2	-7	-29	17	12	6	18	
P5	-10	12	-7	-13	-9	-15	23	-5	19	-5	-11	-17	-3	-19	-3	13	13	3	15	14	-6	16	
P6	-15	-55	6	2	4	3	8	-20	-2	1	7	0	-7	-27	-7	-4	-7	-1	-11	-18	-26	-16	
P7	5	2	5	4	11	4	2	-11	-17	36	21	7	1	-5	12	13	1	-7	12	27	21	18	
P8	-3	0	-2	-1	7	9	4	-16	-3	14	6	9	14	-25	25	24	8	10	-27	-10	-9	-1	
P9	1	46	5	9	-7	2	-3	8	3	-4	-10	-5	20	-3	11	21	23	-11	38	27	32	12	
P10	7	19	-6	-4	-14	0	-31	-22	30	-28	-19	-13	-7	1	-4	1	24	-27	19	47	19	3	
P11	19	12	6	4	3	-2	-1	-17	-10	-16	-16	-27	8	-24	7	-17	4	-7	-5	1	3	-1	
P12	2	0	0	0	6	0	-1	-2	-3	-1	-9	-12	3	8	-5	-4	-6	-7	-3	26	24	22	
P13	-5	-5	-4	-9	6	-4	-9	-10	-19	1	-2	-4	-2	-25	-13	13	16	-7	-4	-10	-8	-17	
P14	-16	-47	-7	-8	-7	-3	-4	11	-10	-6	0	-4	-13	9	7	2	-15	-5	20	-1	-18	2	
P15	-1	-4	3	-3	-1	2	7	-5	-10	5	11	15	-12	-16	2	-4	-12	-10	-4	-2	-12	-4	
P16	-11	-6	6	4	-4	-34	-19	18	-2	-33	-22	-20	-3	-15	10	-11	8	-18	39	22	13	30	
P17	-4	-4	2	2	5	-16	5	7	8	6	19	14	-1	21	-11	-21	15	13	-5	2	-5	7	
P18	-13	0	-2	-5	27	8	39	7	2	9	7	4	-4	-3	-1	-2	18	8	16	-6	8	14	
P19	-7	-42	0	-7	8	10	12	-1	-25	14	9	15	1	-10	3	16	16	32	17	35	19	35	
P20	6	-1	2	2	6	12	23	14	33	14	20	14	-40	33	-30	10	-17	-2	-21	-9	15	29	
P21	7	19	2	4	-4	4	-2	-15	-25	5	-8	-4	-8	-12	-1	-22	-6	-9	6	-23	-19	-9	
P22	-4	-10	0	-1	-7	-1	-7	-5	1	-7	-9	-7	-44	22	7	2	6	-4	-29	-14	4	14	
P23	5	-7	3	10	1	-1	-8	14	7	-1	-13	-17	-22	-9	-25	-1	-20	-7	18	-29	-11	-2	
P24	-4	3	4	3	5	3	5	-6	-9	24	-2	-1	-16	-23	12	21	-7	5	12	0	10	8	
P25	-8	-2	-3	-3	-19	-18	-16	-6	2	-5	-5	-5	-11	5	1	8	-22	4	-65	-30	-22	-33	

4.2.3 EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen weiblichen und männlichen Probanden

T1-T6:

Der Vergleich beider Probandengruppen ergab einen Unterschied im EMG-Aktivitätsniveau des *M. depressor labii inferioris* (35, 36) während der **Artikulation des Vokals E (T3)** (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T7-T9:

Es zeigten sich Unterschiede im EMG-Aktivitätsniveau des *M. depressor anguli oris* (43 und 44) und *M. levator labii superioris et alaeque nasi* (13, 15, 16, 17, 18) bei der motorischen Aufgabe **Aufeinanderpressen der Lippen (T7)** (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Dabei verzeichnete die männliche Probandengruppe eine höhere EMG-Aktivität.

Beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** bestanden ebenso Unterschiede der myoelektrischen Aktivität des *M. depressor anguli oris* (37, 38 und 43, 44) sowie des *M. mentalis* (33, 34 und 39, 40) (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). In der weiblichen Probandengruppe wurden dabei höhere mittlere EMG-Amplituden nachgewiesen.

Weitere geschlechterspezifische Unterschiede der mittleren EMG-Amplitude zeigte die Aktivität des *M. orbicularis oris* (T7: 25, 26, 29 sowie T9: 29, 30, 32) bei den motorischen Aufgaben **Aufeinanderpressen der Lippen (T7)** und **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Dabei wies die weibliche Probandengruppe eine niedrigere mittlere EMG-Amplitude beim **Aufeinanderpressen der Lippen (T7)**, jedoch eine höhere EMG-Aktivität beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** im Vergleich zur männlichen Probandengruppe auf.

T10-T13:

Die weibliche Probandengruppe wies im Vergleich zur männlichen Gruppe eine höhere EMG-Aktivität in einer Elektrodenposition des *M. depressor anguli oris* (38) beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) auf.

T14-T19:

Geschlechterspezifische EMG-Aktivitätsunterschiede ergaben sich beim **Spitzen der Lippen (T14)** für zwei Elektroden des *M. zygomaticus* (23, 24) mit einer höheren Aktivität bei der männlichen Gruppe.

Beim **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)** bestanden Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen Männern und Frauen für den Pars superioris des *M. orbicularis oris* (25-28) sowie für den *M. levator labii superioris alaeque nasi* (15-18) (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,05$) jeweils mit dem Nachweis der höheren Aktivität der weiblichen Probandengruppe.

Vereinzelte Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen Männern und Frauen zeigten sich ebenso beim **Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte (T18)** für den *M. depressor labii inferioris* (35, 36) sowie *M. orbicularis oris* (30, 32).

Beim **lippengebremsten Ausatmen (T19)** wurde in der männlichen Probandengruppe eine höhere EMG-Aktivität für die Pars inferioris des *M. orbicularis oris* (29-32) sowie für den *M. depressor anguli oris* (43, 44), den *M. depressor labii inferioris* (35, 36) und den *M. zygomaticus* (23, 24) (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) nachgewiesen.

T20:

In der weiblichen und männlichen Probandengruppe wurden trotz ähnlicher EMG-Aktivitätsprofile Unterschiede im EMG-Aktivitätsniveau beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** nachgewiesen. Die Elektroden des *M. depressor anguli oris* (37, 38, 43, 44) und *M. depressor labii inferioris* (41, 42) registrierten eine unterschiedliche EMG-Aktivität (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Die EMG-Aktivität war bei den weiblichen Probanden höher.

T21:

Beim **Rümpfen der Nase (T21)** wies die männliche Probandengruppe ein höheres EMG-Aktivitätsniveau des *M. levator labii superioris et alaeque nasi* (13, 14, 16) als die weibliche Probandengruppe (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) auf.

T22-T23:

Beim **Hochziehen des linken Mundwinkels (T23)** bestand ein höheres EMG-Aktivitätsniveau des *M. orbicularis oculi pars inferioris* links (9, 11) der männlichen Probandengruppe (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

T24-T27:

Zwischen der weiblichen und männlichen Probandengruppe ergab sich bei der motorischen Aufgabe **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** ein Unterschied in der EMG-Aktivität an einer Elektrodenposition des *M. frontalis* (2) (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Die EMG-Aktivität der männlichen Probandengruppe war höher.

Beim **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)** zeigte sich ein Unterschied zwischen Männern und Frauen in der myoelektrischen Aktivität der Pars superioris des *M. orbicularis oculi* (5, 6, 8) (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Auch hier wurde eine höhere EMG-Aktivität in der männlichen Gruppe registriert.

Bei der motorischen Aufgabe **kraftvolles Verschließen der Augenlider (T26)** bestand ein EMG-Aktivitätsunterschied an einer Elektrodenposition des *M. frontalis* (1) zwischen der weiblichen und männlichen Probandengruppe (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) zu Gunsten der männlichen Probandengruppe.

T28-T29:

In der männlichen Probandengruppe wurde eine höhere EMG-Aktivität im Vergleich zur weiblichen Probandengruppe an einer Elektrodenposition des *M. frontalis* (1) beim **kraftvollen Verschließen des linken Augenlids (T29)** (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) registriert.

Die nachfolgende **Tabelle 12** gibt einen Überblick der EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen Frauen und Männern aller motorischen Aufgaben und Elektrodenpositionen. Es erfolgte eine Markierung mit „m“, sofern die männliche Probandengruppe die höhere EMG-Aktivität aufwies und eine Markierung mit „w“, wenn in der weiblichen Probandengruppe eine höhere Aktivität vorlag.

Im Weiteren folgen die als Boxplots (**Abbildung 3 bis Abbildung 31**) dargestellten EMG-Aktivitätsprofile der 29 motorischen Aufgaben (T1-T29) aller Probanden. Diese geben Auskunft über die Höhe der EMG-Aktivität (mittlere EMG-Amplitude in μV , x-Achse) jeder einzelnen Elektrodenposition (y-Achse). Ebenso ist der direkte Vergleich der EMG-Aktivitätsprofile zwischen Frauen und Männern möglich.

Ergebnisse

Tabelle 12: Übersicht über Unterschiede der mittleren EMG-Amplitude (Median) zwischen weiblicher und männlicher Probandengruppe (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) für alle motorischen Aufgaben (T1-T29) sowie Elektroden (E 1-44).

Elektroden		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	
1	M. frontalis																														
2	M. frontalis																									m					m
3	M. frontalis																														
4	M. frontalis																														
5	M. orbicularis oculi																														
6	M. orbicularis oculi																										m				
7	M. orbicularis oculi																										m				
8	M. orbicularis oculi																										m				
9	M. orbicularis oculi																														
10	M. orbicularis oculi																														
11	M. orbicularis oculi																														
12	M. orbicularis oculi																														
13	M. levator labii et alaeque nasi							m														m									
14	M. levator labii et alaeque nasi																					m									
15	M. levator labii et alaeque nasi							m										w													
16	M. levator labii et alaeque nasi							m										w				m									
17	M. levator labii et alaeque nasi							m										w													
18	M. levator labii et alaeque nasi							m										w													
19	M. zygomaticus (major et minor)																														
20	M. zygomaticus (major et minor)																														
21	M. zygomaticus (major et minor)																														
22	M. zygomaticus (major et minor)																														
23	M. zygomaticus (major et minor)														m						m										
24	M. zygomaticus (major et minor)														m						m										
25	M. orbicularis oris (Pars superioris)							m										w													
26	M. orbicularis oris (Pars superioris)							m										w													
27	M. orbicularis oris (Pars superioris)																	w													
28	M. orbicularis oris (Pars superioris)																	w													
29	M. orbicularis oris (Pars inferioris)							m		w											m										
30	M. orbicularis oris (Pars inferioris)									w										m	m										
31	M. orbicularis oris (Pars inferioris)																				m										
32	M. orbicularis oris (Pars inferioris)									w										m	m										
33	M. mentalis									w																					
34	M. mentalis									w																					
35	M. depressor labii			w																m											
36	M. depressor labii			w																w											
37	M. depressor anguli oris									w												m									
38	M. depressor anguli oris									w	m											m									
39	M. mentalis									w																					
40	M. mentalis									w																					
41	M. depressor labii																					w									
42	M. depressor labii																					w									
43	M. depressor anguli oris									w											m	w									
44	M. depressor anguli oris									w											m	w									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	
		<div><div>m = höhere mittlere EMG-Aktivität männliche Probandengruppe</div><div>w = höhere mittlere EMG-Aktivität weibliche Probandengruppe</div></div>																													

m = höhere mittlere EMG-Aktivität männliche Probandengruppe
w = höhere mittlere EMG-Aktivität weibliche Probandengruppe

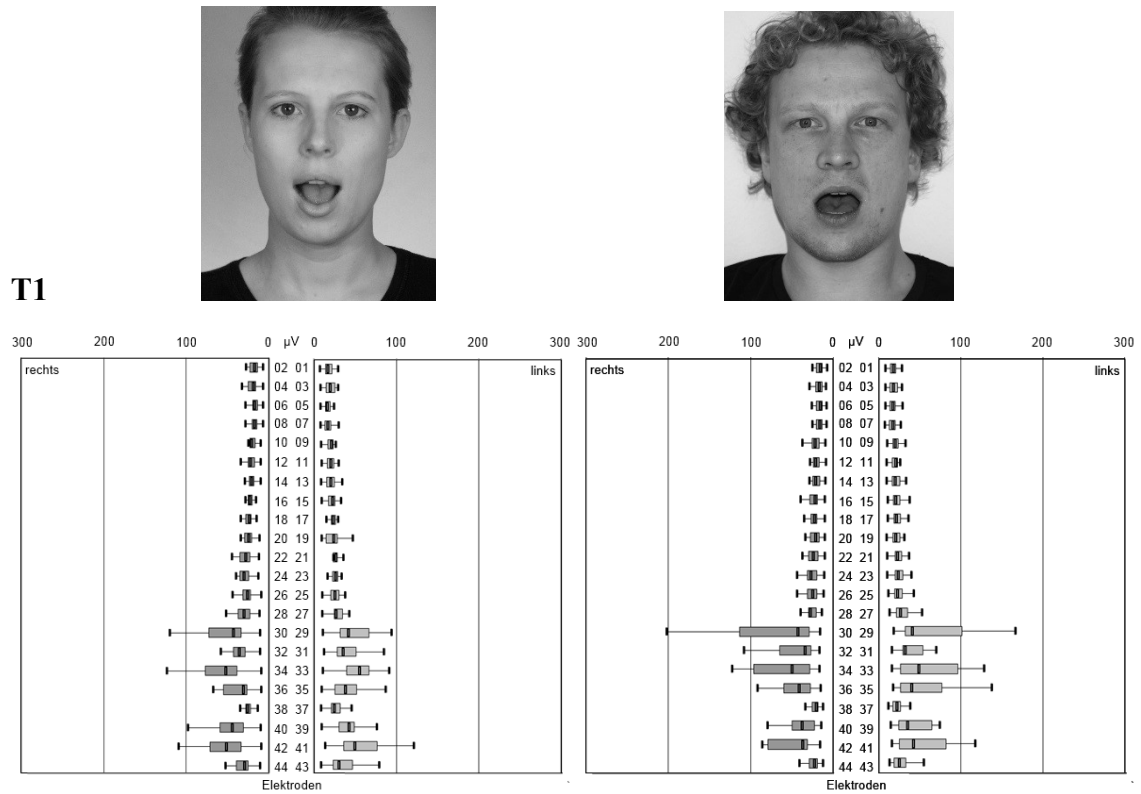


Abbildung 3: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T1 Artikulation des Vokals A** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

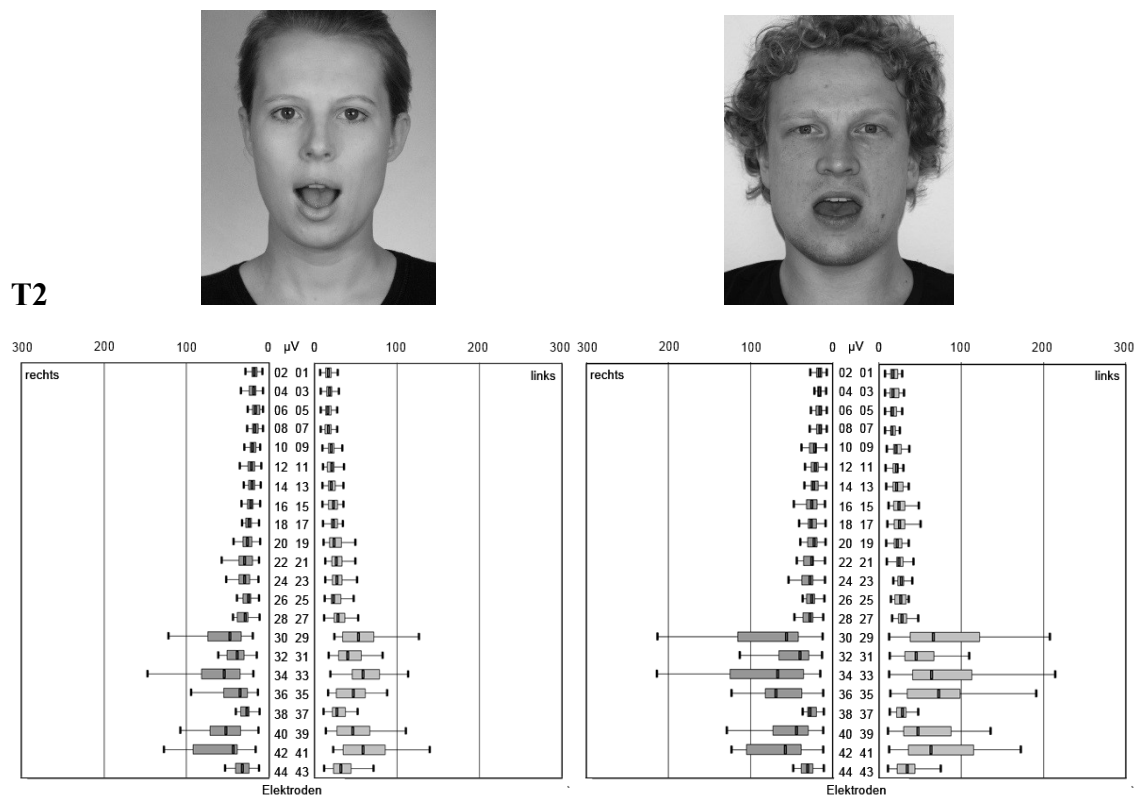


Abbildung 4: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T2 Artikulation des Vokals Ä** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T3

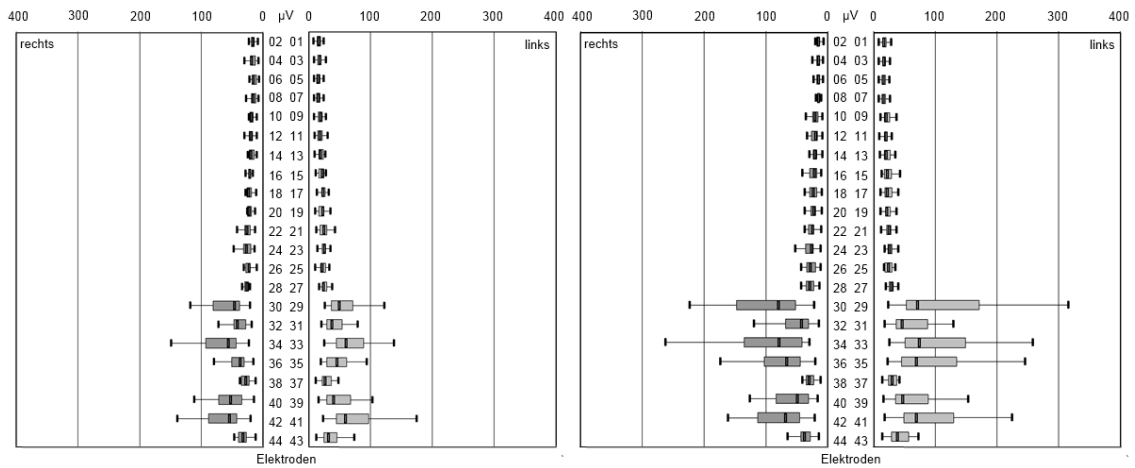
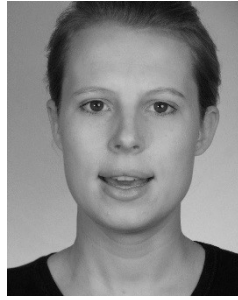


Abbildung 5: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T3 Artikulation des Vokals E** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T4

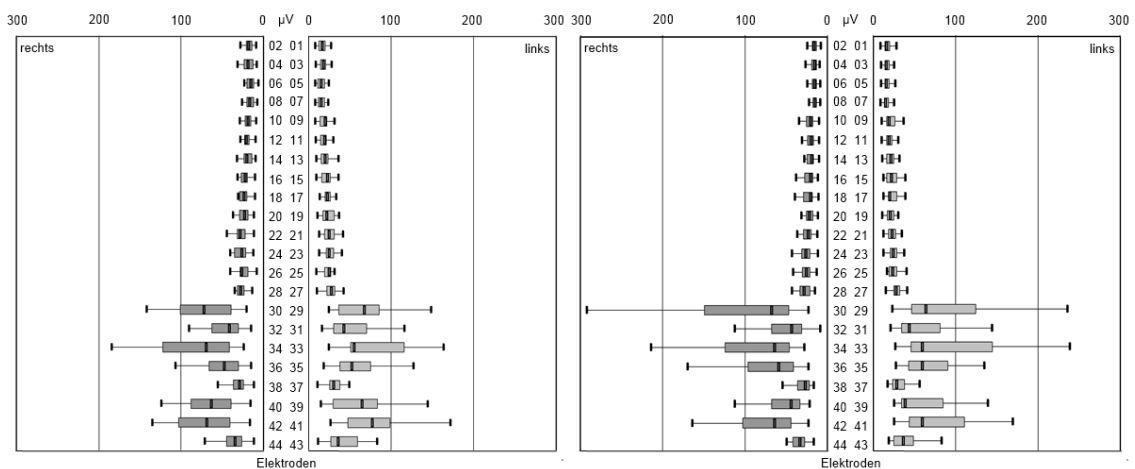
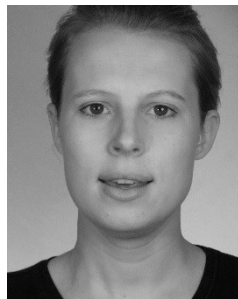


Abbildung 6: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T4 Artikulation des Vokals I** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

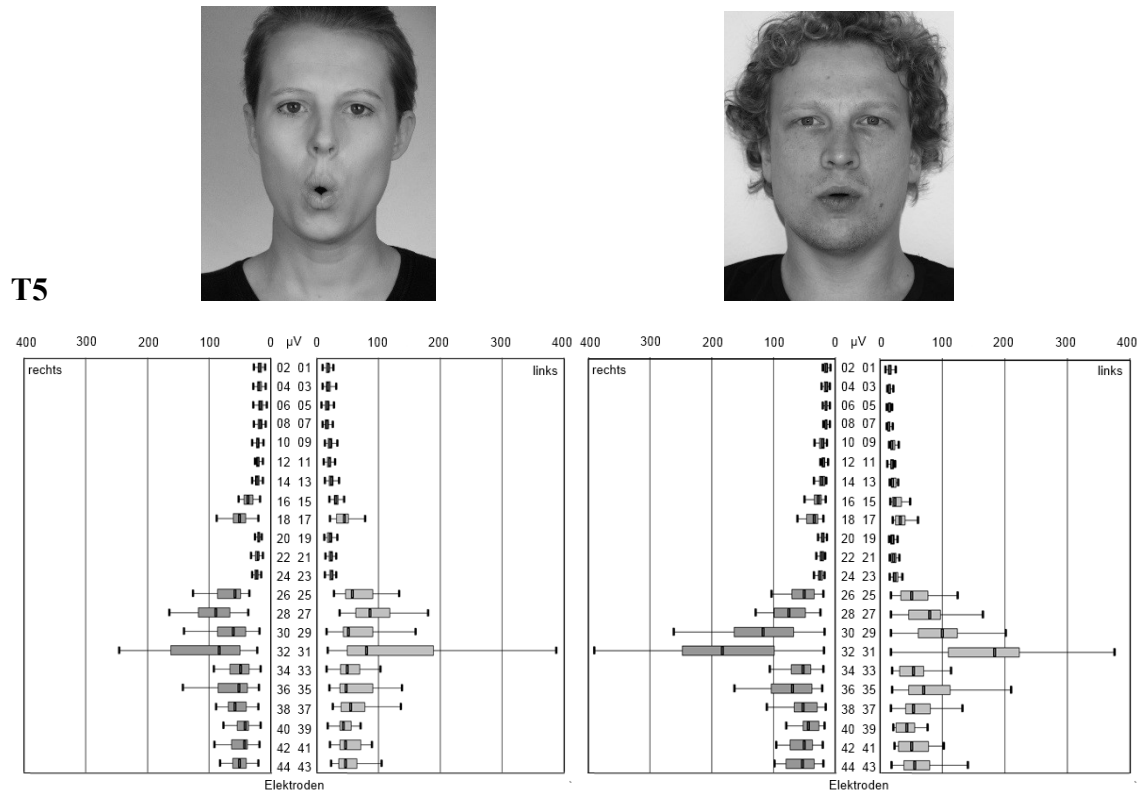


Abbildung 7: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T5 Artikulation des Vokals O** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)



Abbildung 8: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T6 Artikulation des Vokals U** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

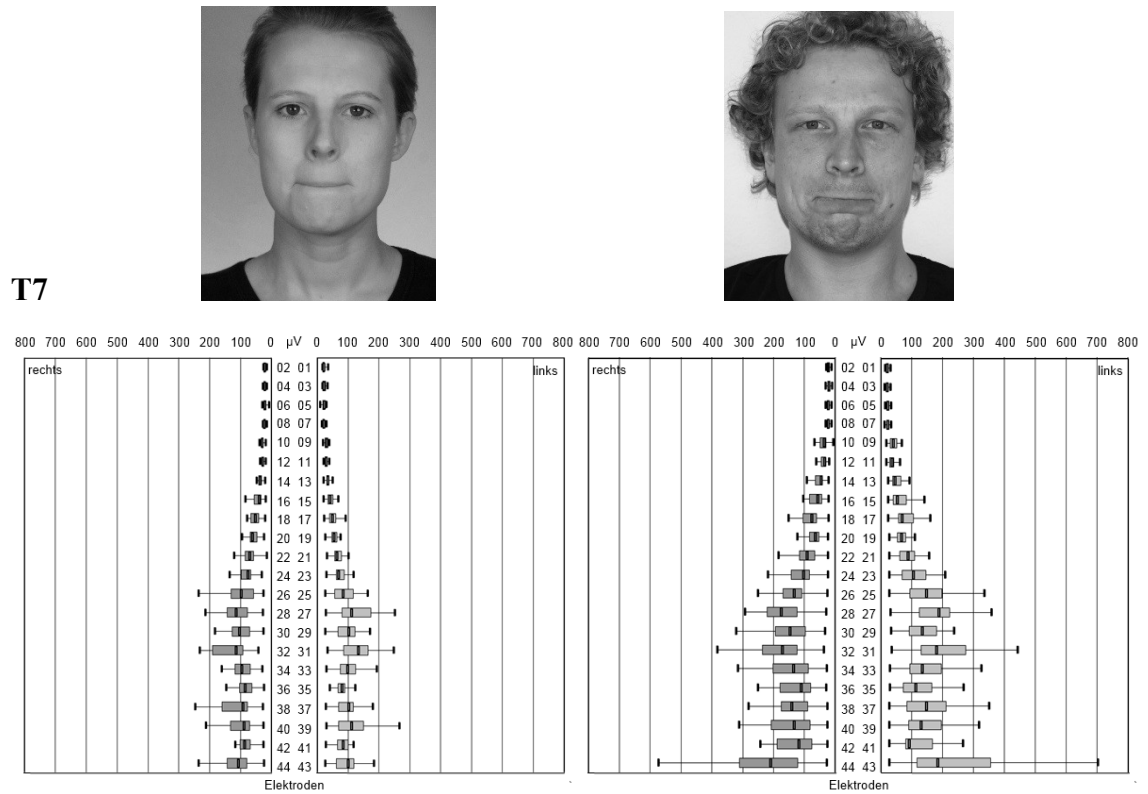


Abbildung 9: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T7 Aufeinanderpressen der Lippen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)



Abbildung 10: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T8 Herabziehen der Mundwinkel** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T9

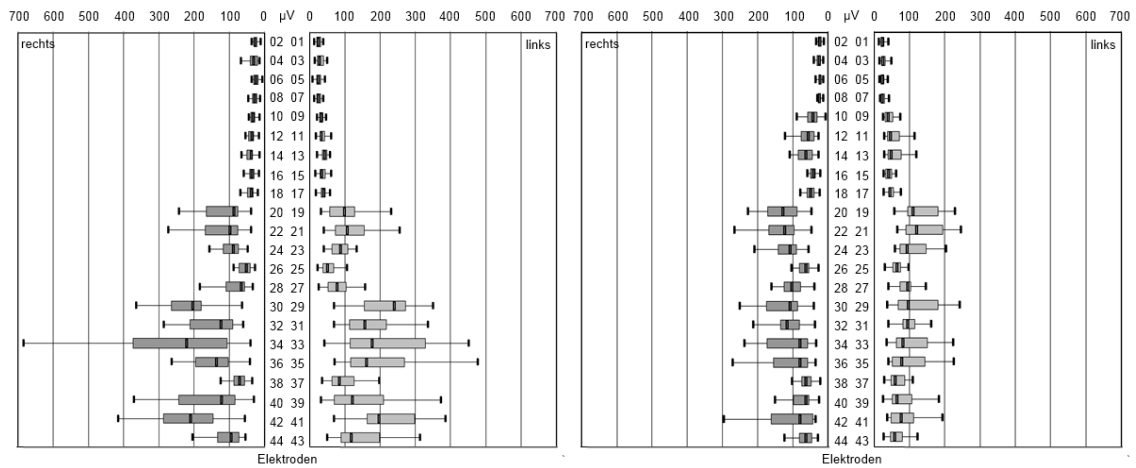


Abbildung 11: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T9 Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T10

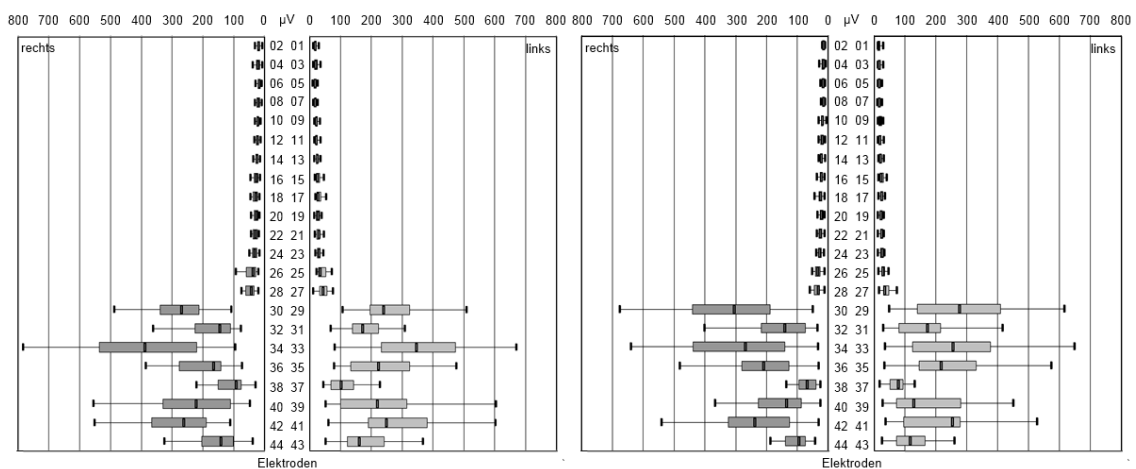
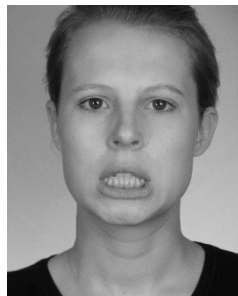


Abbildung 12: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe T10 Herabziehen der Unterlippe für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T11

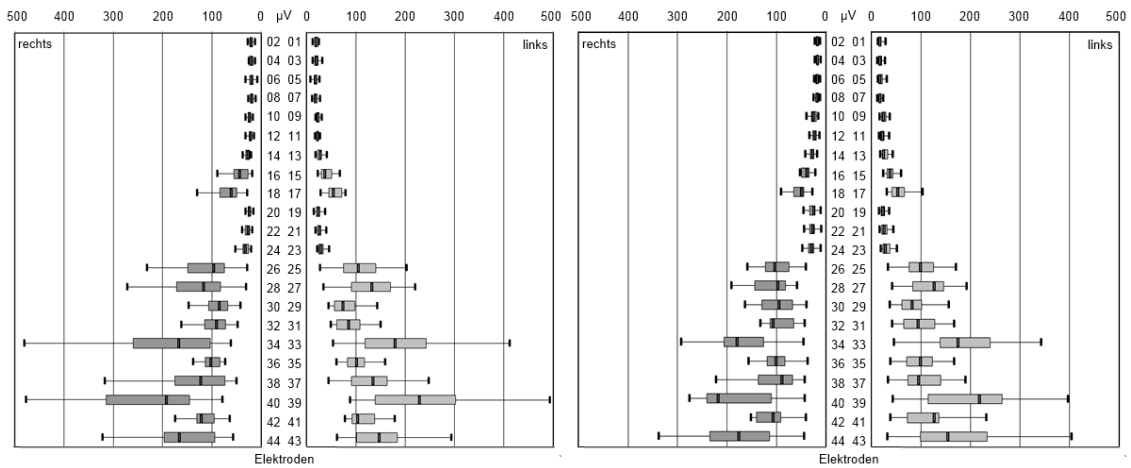
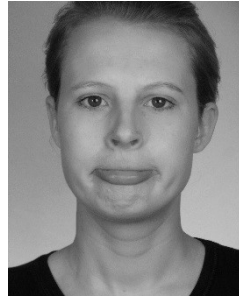


Abbildung 13: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T11 Vorschieben der Unterlippe** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T12

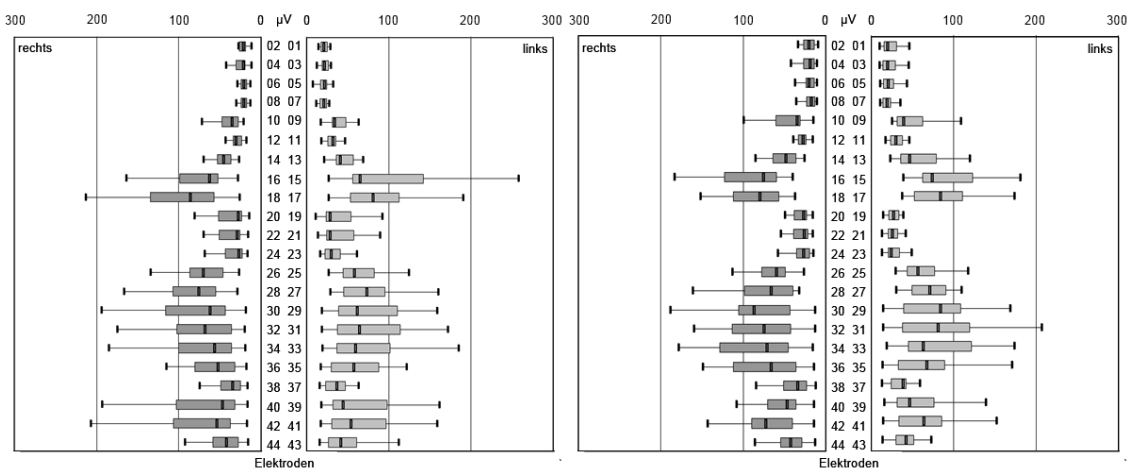


Abbildung 14: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T12 Hochziehen der Oberlippe** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T13

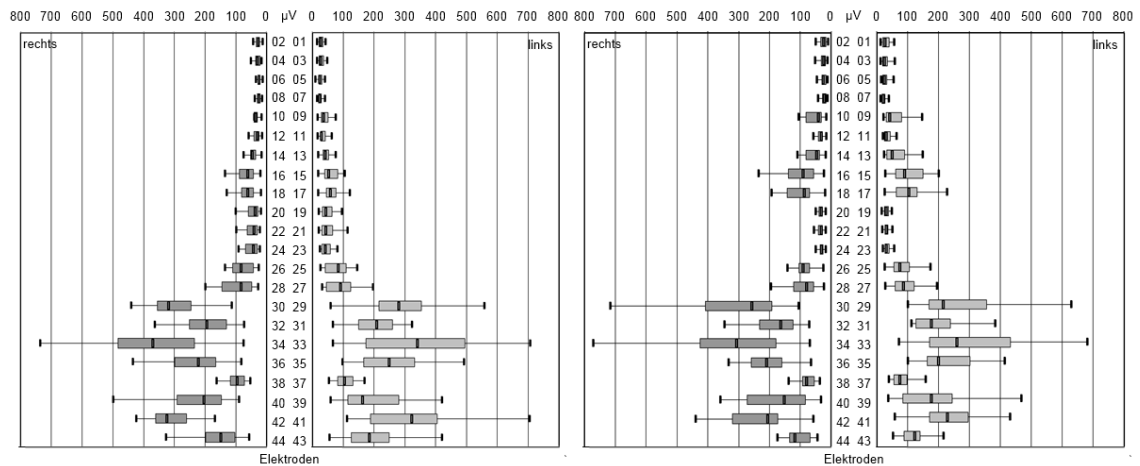
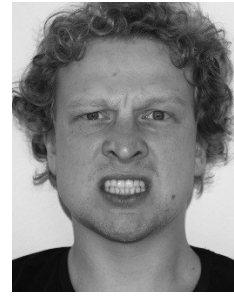
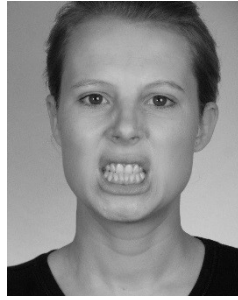


Abbildung 15: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T13 Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T14

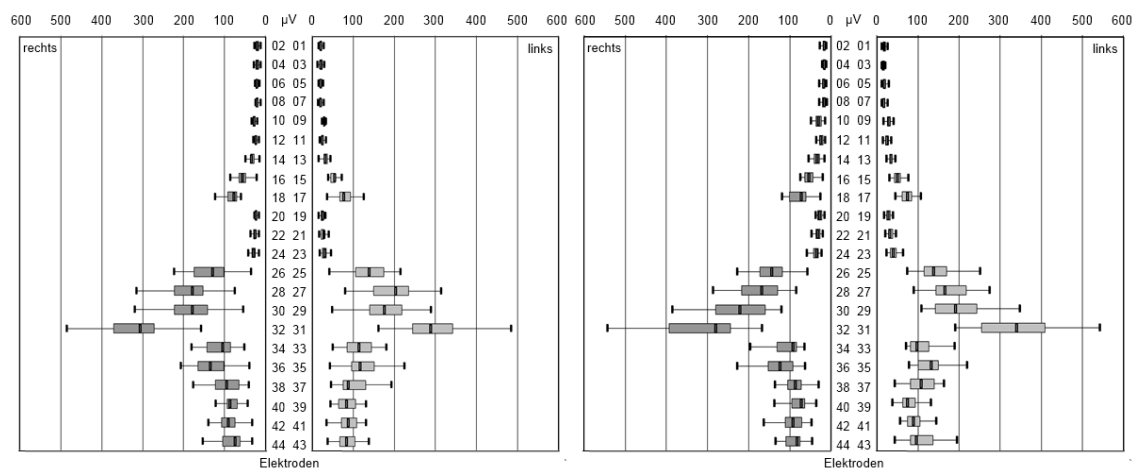
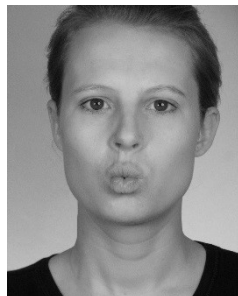


Abbildung 16: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T14 Spitzen der Lippen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T15

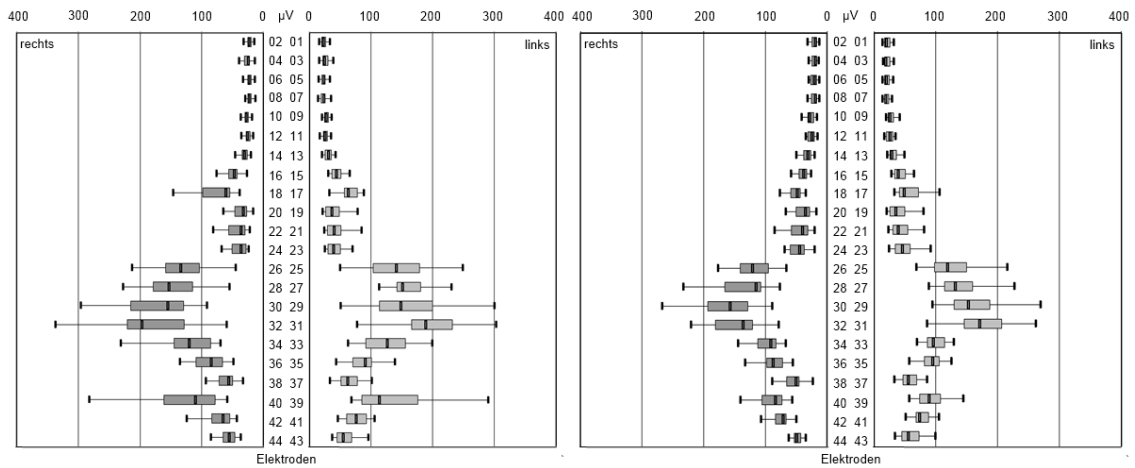
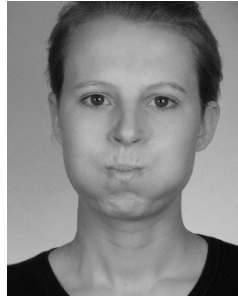


Abbildung 17: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T15 Aufblasen der Wangen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T16

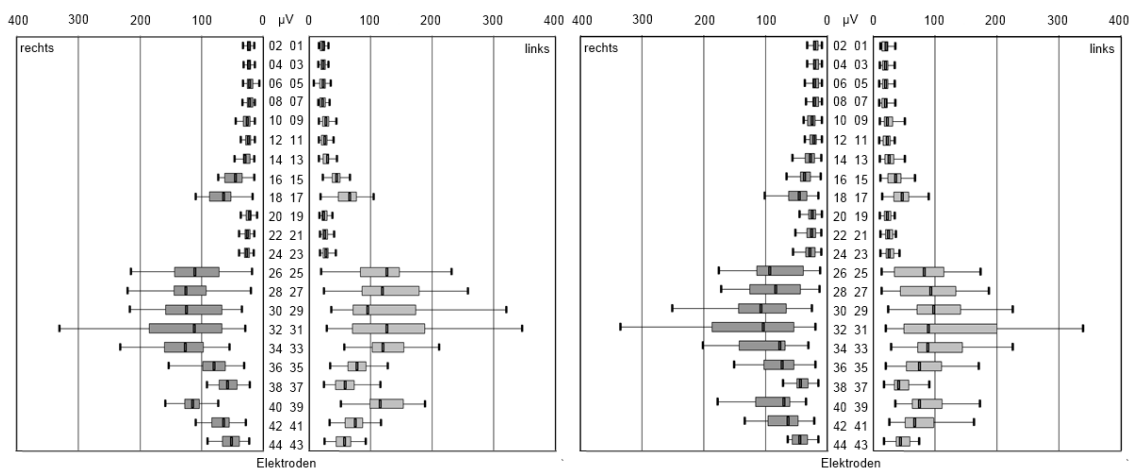
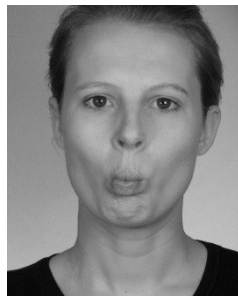


Abbildung 18: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T16 Einziehen der Wangen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T17

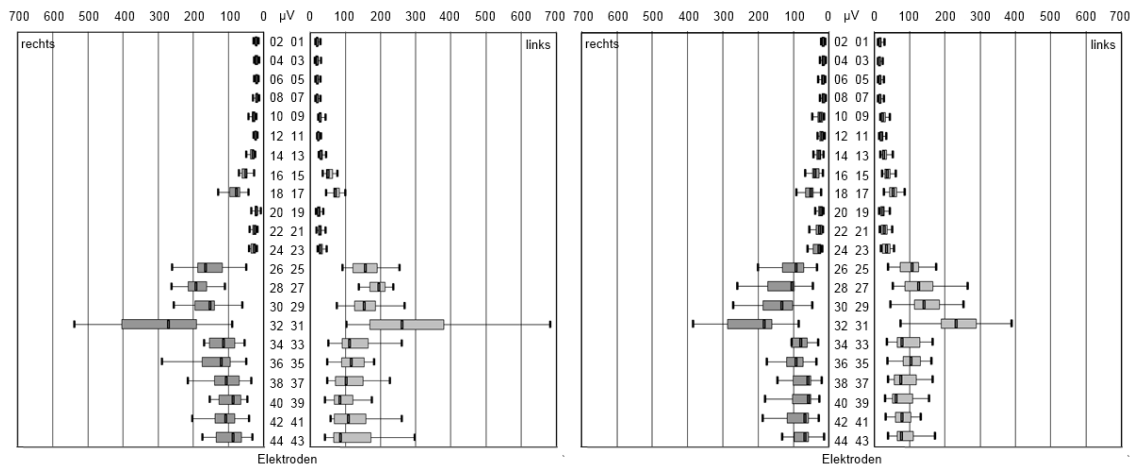
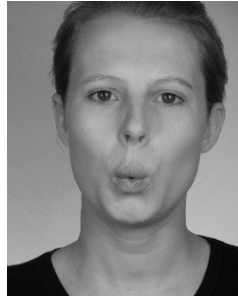


Abbildung 19: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T17 Pfeifen in konstanter Tonhöhe** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T18

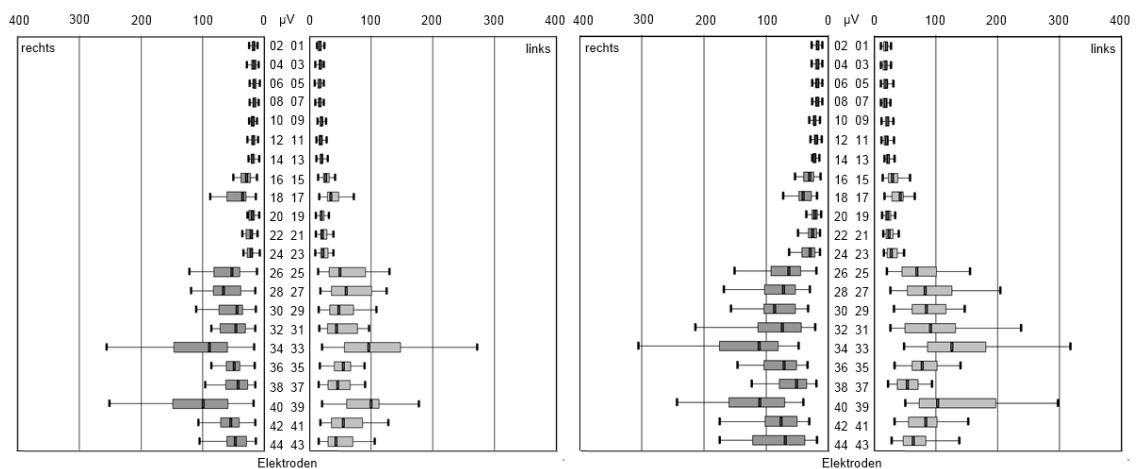
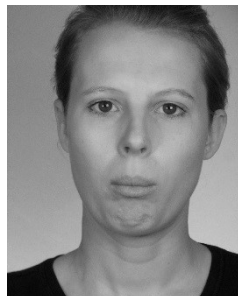


Abbildung 20: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T18 Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T19

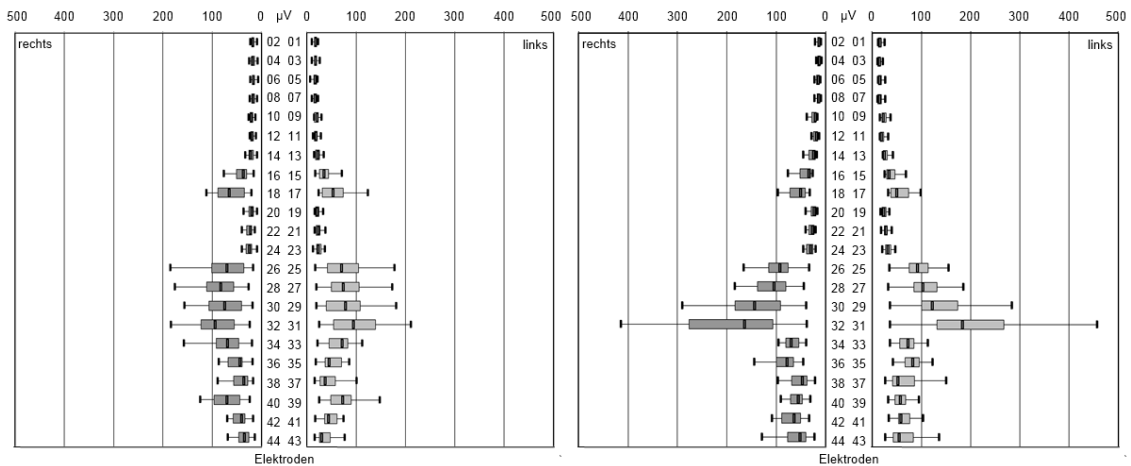
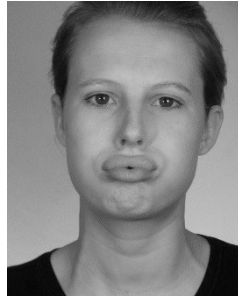


Abbildung 21: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T19 lippengebremstes Ausatmen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T20

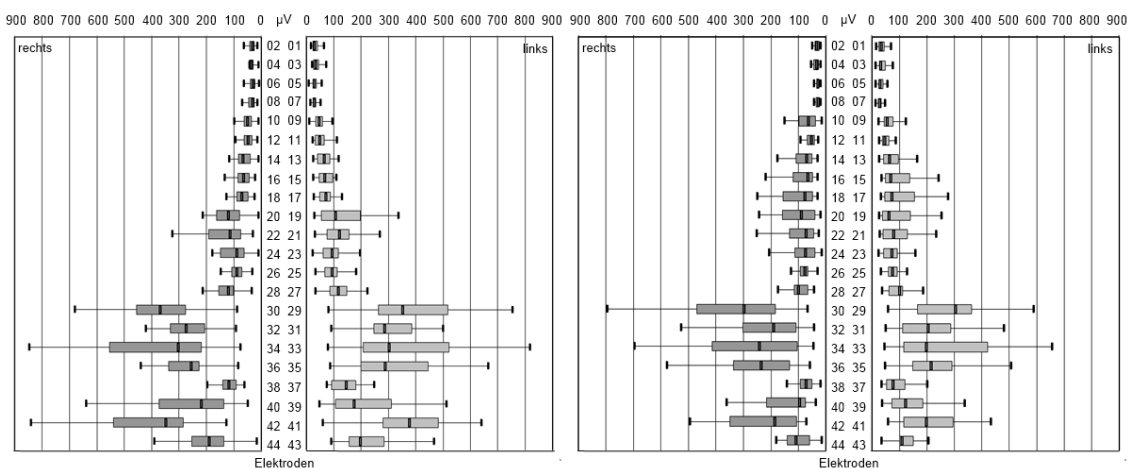


Abbildung 22: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T20 maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T21

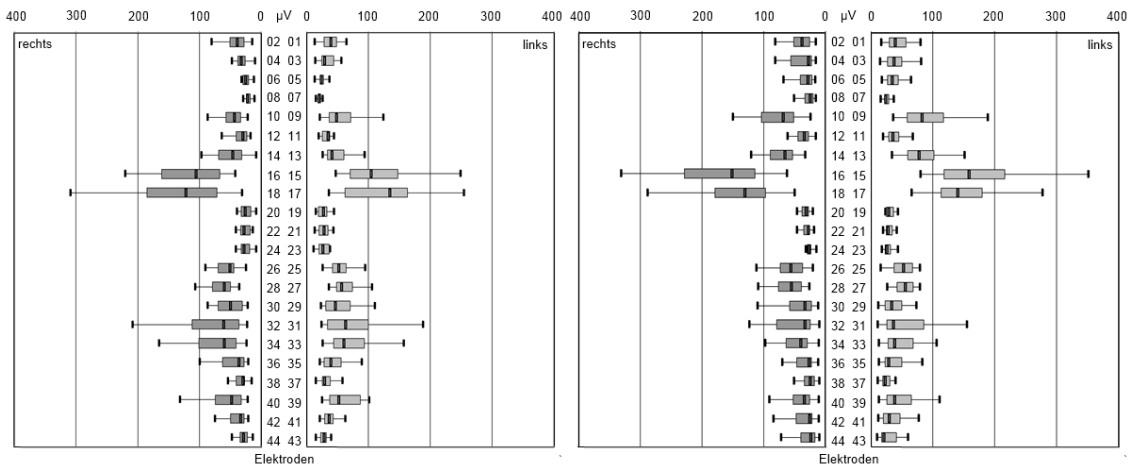


Abbildung 23: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T21 Rümpfen der Nase** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T22

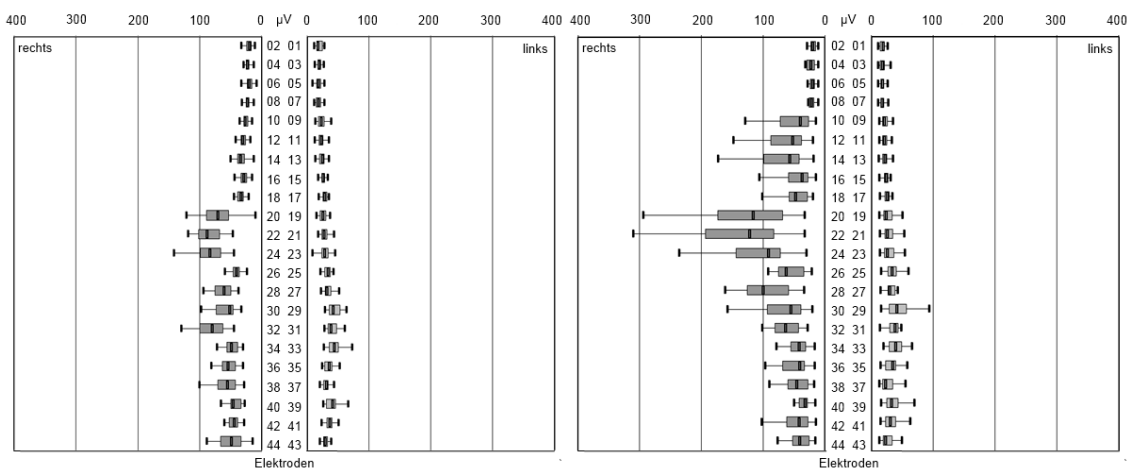


Abbildung 24: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T22 Hochziehen des rechten Mundwinkels** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T23

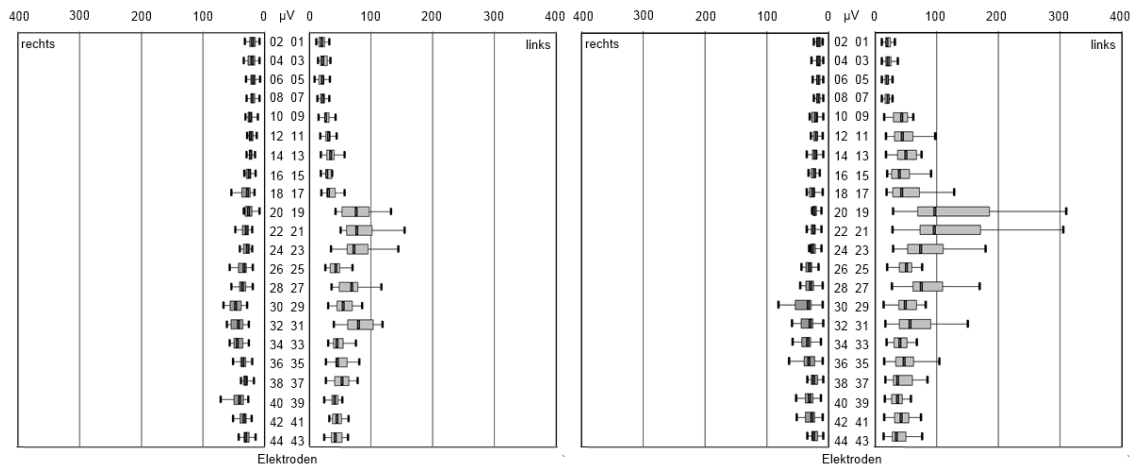


Abbildung 25: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T23 Hochziehen des linken Mundwinkels** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T24

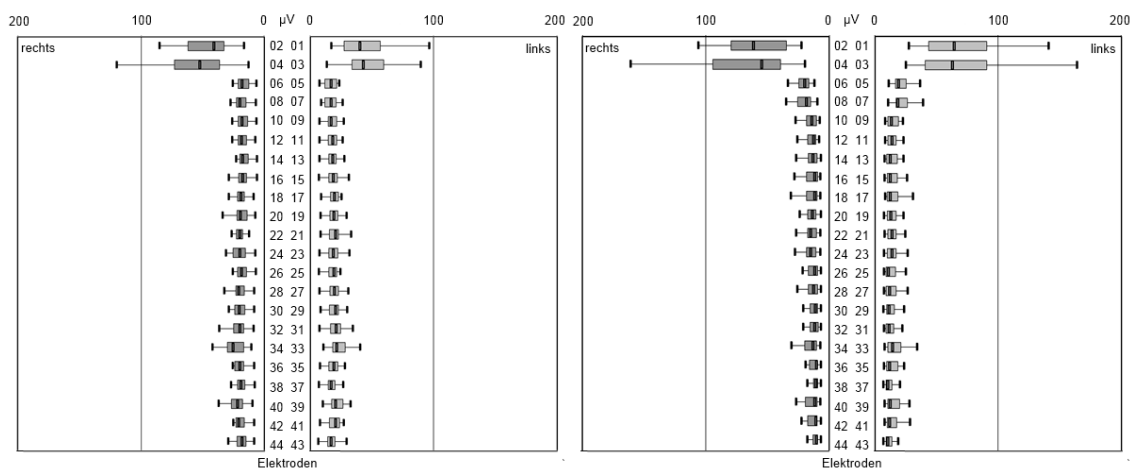
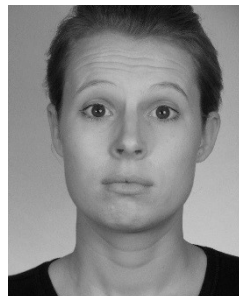


Abbildung 26: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T24 Hochziehen der Augenbrauen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T25

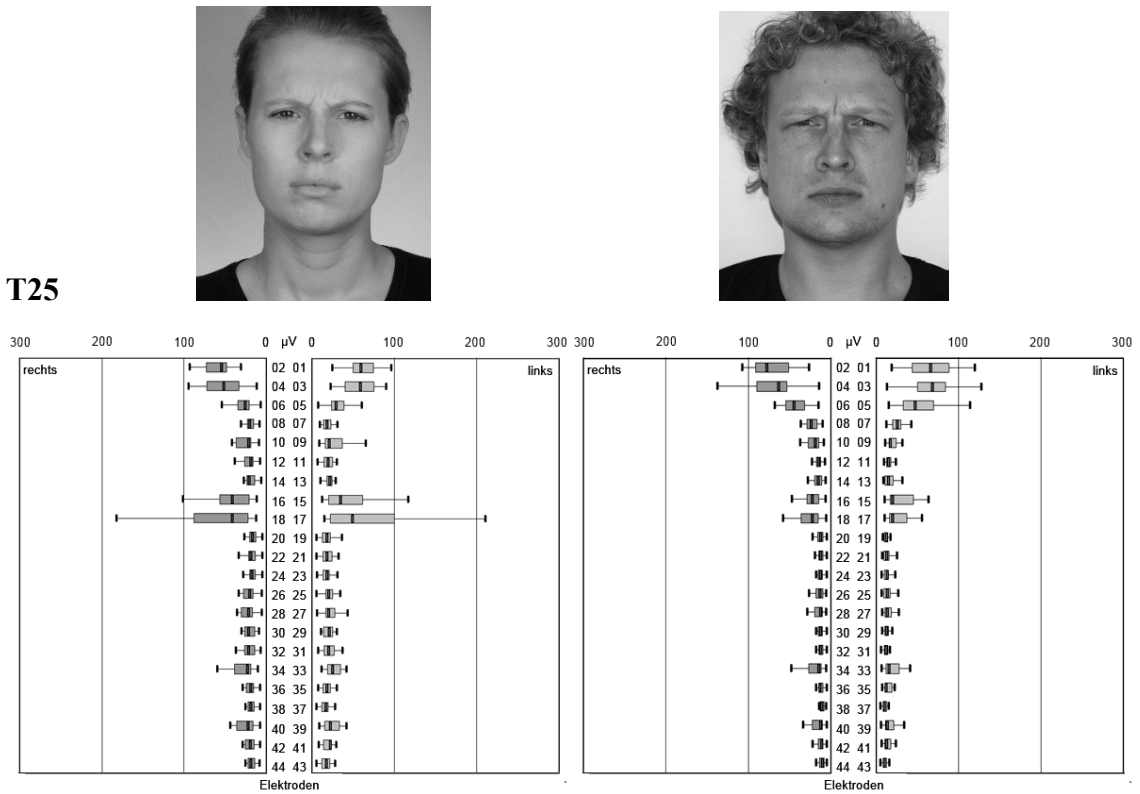


Abbildung 27: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T25 Zusammenziehen der Augenbrauen** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T26

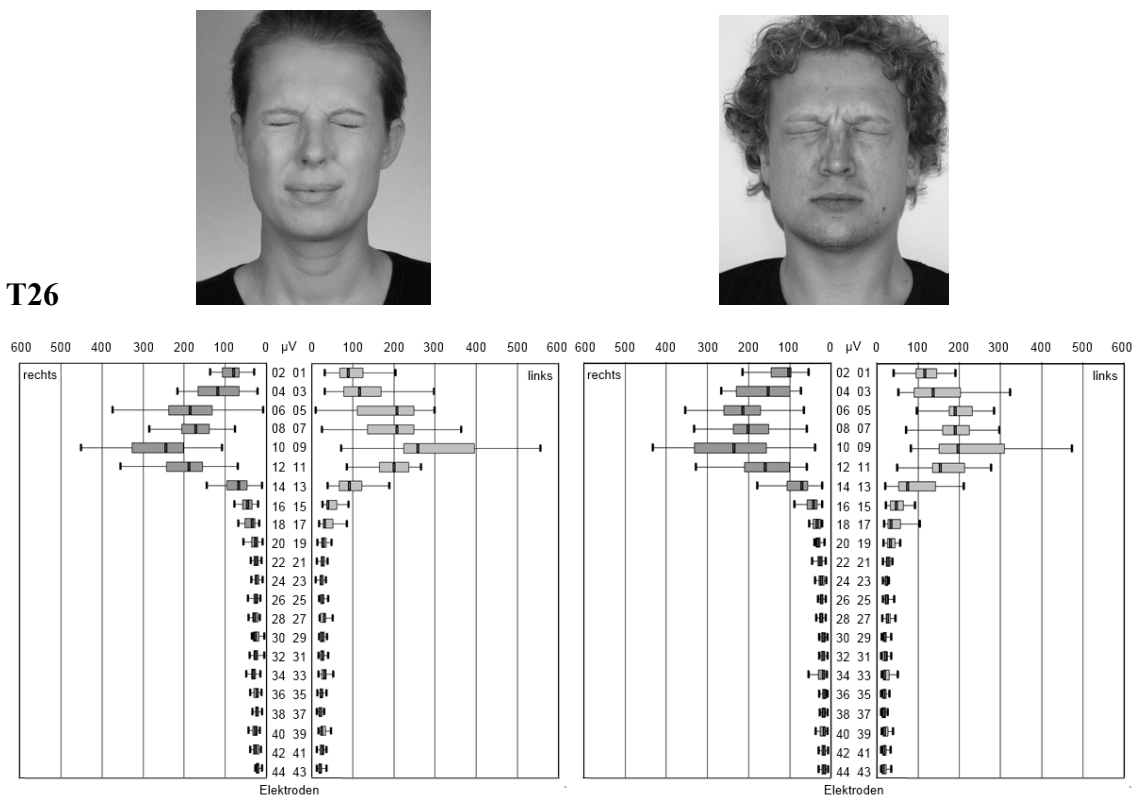


Abbildung 28: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T26 kraftvolles Verschließen der Augenlider** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T27

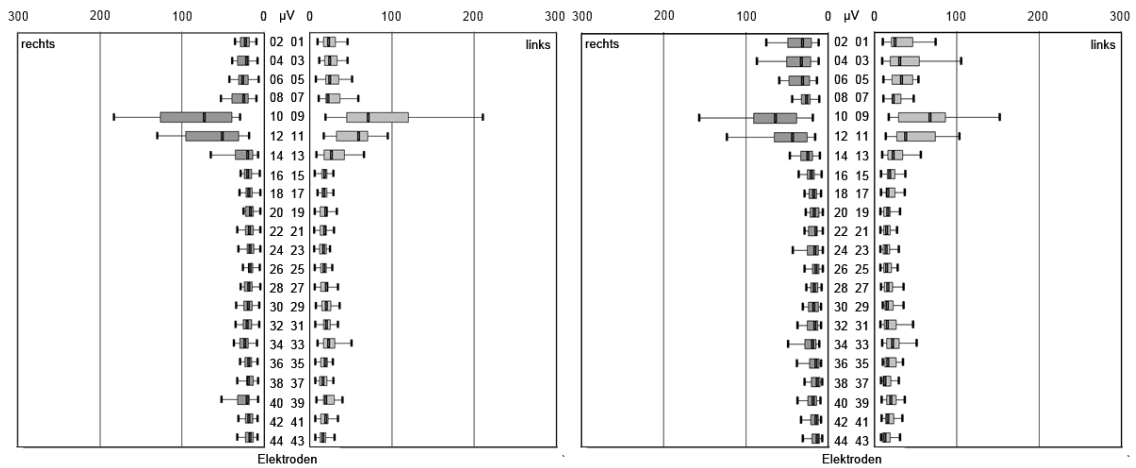


Abbildung 29: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T27 Blinzeln** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T28

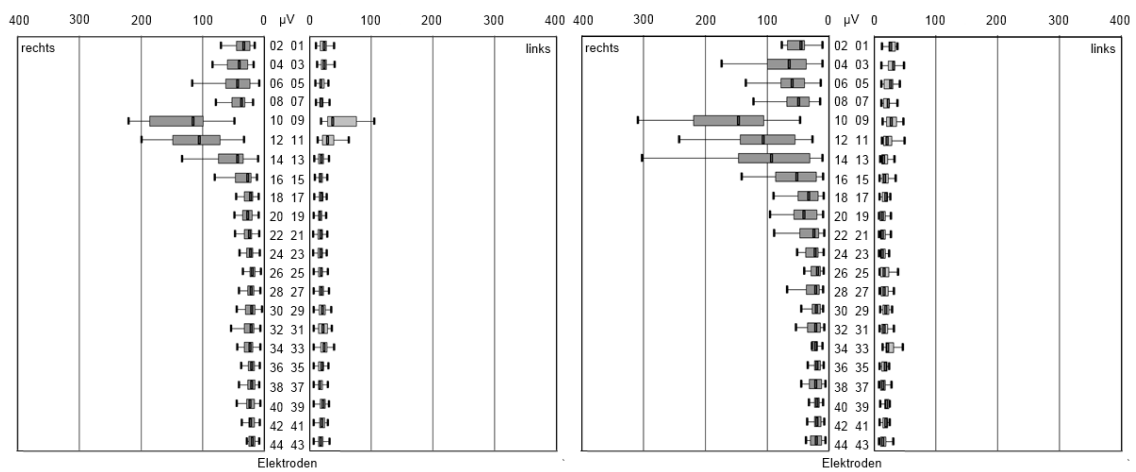


Abbildung 30: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T28 kraftvolles Verschließen des rechten Augenlids** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

T29

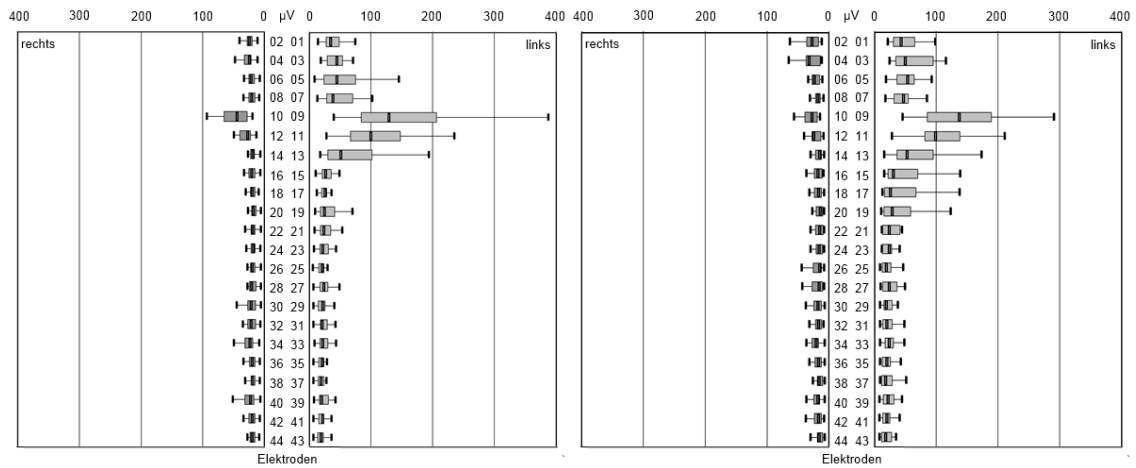


Abbildung 31: EMG-Aktivitätsprofil der motorischen Aufgabe **T29 kraftvolles Verschieben des linken Augenlids** für die weibliche (links, n=25) und männliche Probandengruppe (rechts, n=25)

4.3 Multivariate Varianzanalyse

4.3.1 Multivariate Varianzanalyse der EMG-Aktivitätswerte der weiblichen Probandengruppe

Die multivariate Varianzanalyse (ANOVA, wiederholte Messungen) erfolgte zur Prüfung statistischer Unterschiede zwischen den motorischen Aufgaben, zwischen rechter und linker Gesichtsseite sowie zwischen superioren und inferioren, medialen und lateralen Elektrodenpositionen innerhalb der weiblichen Probandengruppe. Es wurden EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den motorischen Aufgaben nachgewiesen. Seitenunterschiede bestanden nicht. Zwischen allen benachbarten Elektrodenpositionen aller Muskeln, sowohl in superiorer/inferiorer, als auch in lateraler/medialer Anordnung bestanden EMG-Aktivitätsunterschiede. Einzig zwischen den superioren und inferioren Elektroden der *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und *M. mentalis* (33-44) wurden keine Unterschiede der EMG-Aktivität registriert. Die Ergebnisse wurden in **Tabelle 13** zusammengestellt.

Tabelle 13: Prüfung auf Unterschiede zwischen den motorischen Aufgaben, rechter und linker Gesichtsseite sowie superioren und inferioren, medialen und lateralen Elektrodenpositionen verschiedener mimischer Muskeln der weiblichen Gruppe (ANOVA) auf Basis normalisierter mittlerer EMG-Amplituden.

M. frontalis (Elektroden 1-4):	M. orbicularis oculi (Elektroden 5-12):
motorische Übung (T24-T27) = $p < 0,001$	motorische Übung (T24-T27) = $p < 0,001$
rechte Seite – linke Seite = n.s.	rechte Seite – linke Seite = n.s.
laterale – mediale Orientierung = $p < 0,005$	laterale – mediale Orientierung = $p < 0,001$
	superiore – inferiore Orientierung = $p < 0,001$
Mm. levator labii superioris et levator labii superioris alaeque nasi (Elektroden 13-18):	Mm. zygomatici major et minor (Elektroden 19-24):
motorische Übung (T1-T21) = $p < 0,001$	motorische Übung (T1-T21) = $p < 0,005$
rechte Seite – linke Seite = n.s.	rechte Seite – linke Seite = n.s.
superiore – inferiore Orientierung = $p < 0,001$	superiore – inferiore Orientierung = $p < 0,001$
M. orbicularis oris (Elektroden 25-32):	M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris, M. mentalis (Elektroden 33-44):
motorische Übung (T1-T21) = $p < 0,001$	motorische Übung (T1-T21) = $p < 0,001$
rechte Seite – linke Seite = n.s.	rechte Seite – linke Seite = n.s.
laterale – mediale Orientierung = $p < 0,001$	laterale – mediale Orientierung = $p < 0,001$
	superiore – inferiore Orientierung = n.s.

4.3.2 Multivariate Varianzanalyse mit dem Zwischensubjektfaktor Geschlecht

Die vollständigen EMG-Datensätze der weiblichen und männlichen Probanden wurden durch die Multivariate Varianzanalyse unter Berücksichtigung des Zwischensubjektfaktors „Geschlecht“ ausgewertet. Dabei wurde der Einfluss des Zwischensubjektfaktors jeweils auf das gesamte EMG-Aktivitätsprofil, auf die motorischen Aufgaben, auf die Seitenunterschiede sowie auf die mediale/laterale und superiore/inferiore Elektrodenorientierung geprüft (**Tabelle 14**).

Für den *M. frontalis* konnte ein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf die EMG-Aktivitätsprofile aller motorischen Aufgaben (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: $p < 0,05$) nachgewiesen werden.

Im Weiteren war für die motorischen Aufgaben T1-T21 ein Einfluss des Geschlechts auf die EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* sowie des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und *M. mentalis* nachzuweisen (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: $p < 0,05$). Ebenso wurde ein Einfluss des Geschlechts auf die EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den superiorer-inferiorer angeordneten Elektroden für den *M. orbicularis oculi* ($p < 0,005$) sowie den *M. orbicularis oris* ($p < 0,01$) und den *M. depressor*

anguli oris, *M. depressor labii inferioris* und *M. mentalis* ($p < 0,01$) nachgewiesen (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht).

Keinen Einfluss hatte das Geschlecht auf die EMG-Aktivität des *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* und die *Mm. zygomatici major et minor* (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: n.s.).

Der Zwischensubjektfaktor hätte keinen Einfluss auf mögliche Seitenunterschiede in der weiblichen oder männlichen Probandengruppe (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: n.s.), sofern Seitenunterschiede bestehen würden.

Tabelle 14: Übersicht über den Einfluss des Geschlechts (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht) auf das EMG-Aktivitätsprofil (einzelner Muskeln), die motorischen Aufgaben, die Seitenunterschiede sowie auf die mediale/laterale und superiore/inferiore Elektrodenorientierung

M. frontalis (Elektroden 1-4):	
<u>Einfluss des Geschlechts auf:</u>	
das EMG-Aktivitätsprofil (M. frontalis)	= $p < 0,05$
die motorischen Aufgaben (T24-T27)	= n.s.
Seitenunterschiede	= n.s.
die laterale – mediale Orientierung	= n.s.
M. orbicularis oculi (Elektroden 5-12):	
<u>Einfluss des Geschlechts auf:</u>	
das EMG-Aktivitätsprofil (M. orbicularis oculi)	= n.s.
die motorischen Aufgaben (T24-T27)	= n.s.
Seitenunterschiede	= n.s.
die laterale – mediale Orientierung	= n.s.
die superiore – inferiore Orientierung	= $p < 0,005$
Mm. levator labii superioris et levator labii superioris alaeque nasi (Elektroden 13-18):	
<u>Einfluss des Geschlechts auf:</u>	
das EMG-Aktivitätsprofil (Mm. levator labii superioris et alaeque nasi)	= n.s.
die motorischen Aufgaben (T1-T21)	= n.s.
Seitenunterschiede	= n.s.
die superiore – inferiore Orientierung	= n.s.
Mm. zygomatici major et minor (Elektroden 19-24):	
<u>Einfluss des Geschlechts auf:</u>	
das EMG- Aktivitätsprofil (Mm. zygomatici major et minor)	= n.s.
die motorischen Aufgaben (T1-T21)	= n.s.
Seitenunterschiede	= n.s.
die superiore – inferiore Orientierung	= n.s.

M. orbicularis oris (Elektroden 25-32):		
<u>Einfluss des Geschlechts auf:</u>		
das EMG- Aktivitätsprofil (M. orbicularis oris)	=	n.s.
die motorischen Aufgaben (T1-T21)	=	p<0,05
Seitenunterschiede	=	n.s.
die laterale – mediale Orientierung	=	n.s.
die superiore – inferiore Orientierung	=	p<0,01
M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris, M. mentalis (Elektroden 33-44):		
<u>Einfluss des Geschlechts auf:</u>		
das EMG-Aktivitätsprofil (M. depr. anguli oris, M. depr. labii inf., M. mentalis)	=	n.s.
die motorischen Aufgaben (T1-T21)	=	p<0,005
Seitenunterschiede	=	n.s.
die laterale – mediale Orientierung	=	n.s.
die superiore – inferiore Orientierung	=	p<0,01

4.4 Videoanalyse

Bei 21 der 25 Probandinnen wurden Videoaufzeichnungen durchgeführt. Bei 12 Probandinnen wurde jede motorische Bewegung (n=25) der Untersuchungsreihe aufgezeichnet. Bei den übrigen Probandinnen wurden einzelne Bewegungen nicht registriert. Die Bewertung der optimalen Durchführung der motorischen Aufgaben erfolgte nach dem Schulnotensystem (1-6). Der Mittelwert aller aufgezeichneten motorischen Aufgaben aller Probandinnen (n=21) erbrachte eine Note von 1,76. Auch bei den Probandinnen (n=12), von denen alle Bewegungen aufgezeichnet und bewertet wurden, wurde die Note 1,76 erreicht. Die Bewertungen der einzelnen mimischen Bewegungen variieren (**Tabelle 15**). Die motorische Aufgaben **Spitzen der Lippen (T14)** und **Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte (T18)** konnten von allen Probandinnen in der gewünschten Weise durchgeführt werden. Eine deutliche Abweichung der vorgegebenen mimischen Bewegungen wurde beim **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** verzeichnet. Diese Aufgabe konnte von einigen Probandinnen koordinativ nicht umgesetzt werden (**Abbildung 32**). Das Bewegungsmuster war jedoch zu erkennen. Des Weiteren wurden vereinzelt bei den unilateralen Aufgaben **Hochziehen der Mundwinkel (T22/T23)** sowie **kraftvolles Verschließen der Augenlider (T28/T29)** bei derselben Probandin qualitativ unterschiedliche, nicht symmetrische Bewegungsmuster aufgezeichnet (**Abbildung 33**).

Tabelle 15: Bewertungen aller Videoaufzeichnungen der motorischen Aufgaben (T1-T29). Die Anzahl der aufgezeichneten mimischen Bewegungen ist in Klammern angegeben.

Nr.	motorische Aufgaben	Note
T1	Artikulation des Vokals A (18/25)	1,33
T2	Artikulation des Vokals Ä (20/25)	1,35
T3	Artikulation des Vokals E (20/25)	1,45
T4	Artikulation des Vokals I (19/25)	1,47
T5	Artikulation des Vokals O (19/25)	1,26
T6	Artikulation des Vokals U (18/25)	1,22
T7	Aufeinanderpressen der Lippen (18/25)	1,67
T8	Herabziehen der Mundwinkel (18/25)	3,17
T9	Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (18/25)	2,06
T10	Herabziehen der Unterlippe (20/25)	2,3
T11	Vorschieben der Unterlippe (21/25)	2,14
T12	Hochziehen der Oberlippe (21/25)	1,95
T13	Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (19/25)	2,05
T14	Spitzen der Lippen (19/25)	1
T15	Aufblasen der Wangen (20/25)	1,75
T16	Einziehen der Wangen (20/25)	1,85
T17	Pfeifen in konstanter Tonhöhe (20/25)	1,4
T18	Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte (20/25)	1
T19	lippengebremstes Ausatmen (18/25)	1,83
T20	maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (15/25)	1,87
T21	Rümpfen der Nase (17/25)	2,29
T22	Hochziehen des rechten Mundwinkels (18/25)	2,28
T23	Hochziehen des linken Mundwinkels (18/25)	2,44
T24	Hochziehen der Augenbrauen (18/25)	1,56
T25	Zusammenziehen der Augenbrauen (18/25)	1,83
T26	kraftvolles Verschließen der Augenlider (18/25)	1,39
T27	Blinzeln (18/25)	1,39
T28	kraftvolles Verschließen des rechten Augenlids (16/25)	1,75
T29	kraftvolles Verschließen des linken Augenlids (18/25)	1,94

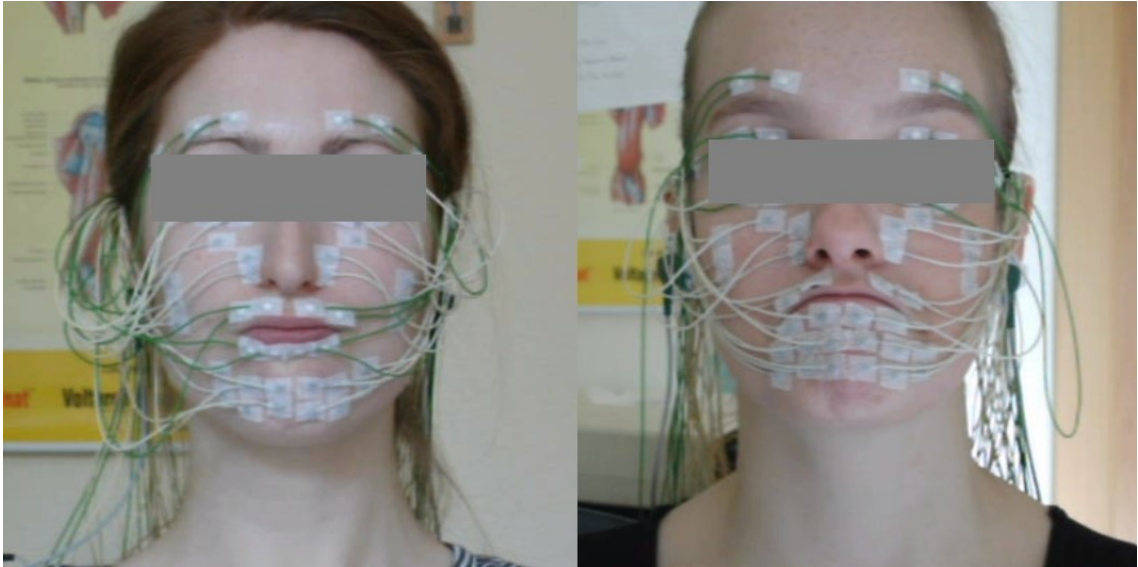


Abbildung 32: Vergleich unterschiedlicher Ausführungen: Herabziehen der Mundwinkel (T8) links nur befriedigende Ausführung der Übung, rechts sehr gute Ausführung der Übung

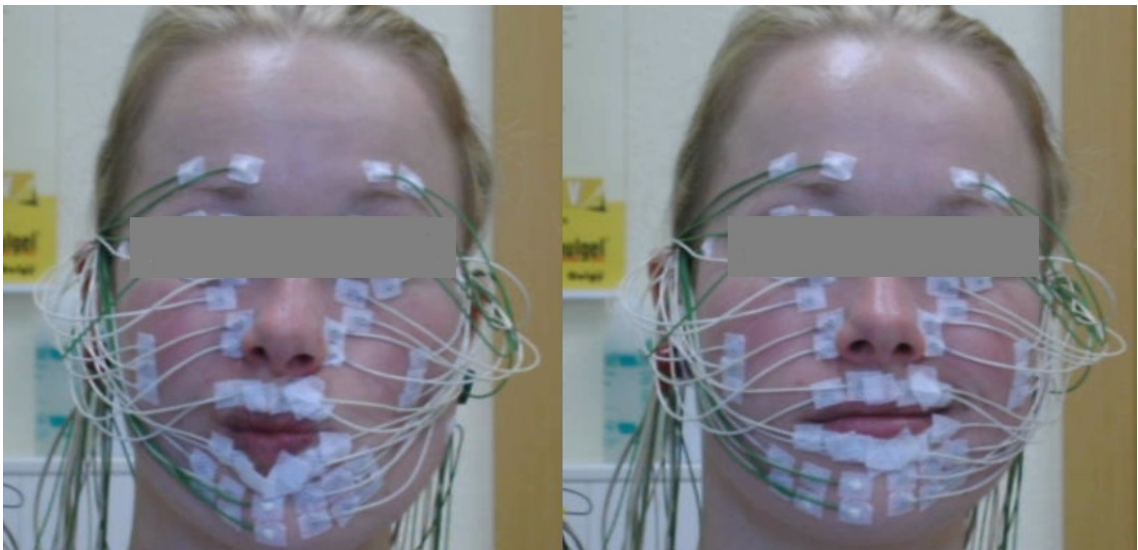


Abbildung 33: Vergleich unterschiedlicher Ausführungen: Übung Hochziehen Mundwinkel rechts (T22) und Hochziehen Mundwinkel links (T23) bei der gleichen Probandin

5 Diskussion

In dieser Multikanal-OEMG-Studie der mimischen Muskulatur wurde durch einen Vergleich zwischen 25 jungen weiblichen und 25 männlichen Probanden gezeigt, dass die EMG-Aktivitätsmuster von Frauen und Männern während der willkürlichen Kontraktion der mimischen Muskulatur ähnlich sind. Nicht alle motorischen Aufgaben der mimischen Muskulatur sind geeignet, um Verlaufskontrollen oder Vergleichsstudien bei einer Schädigung des N. facialis durchzuführen. Ob eine separate Betrachtung der EMG-Aktivitätsmuster von Frauen und Männern notwendig ist, wird im Folgenden diskutiert.

5.1 Myoelektrische Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur junger Frauen

M. frontalis (E 1-4):

Die Hauptaufgabe des *M. frontalis* ist das Heben der Augenbrauen sowie das Stirnrunzeln (Aumüller et al. 2007). Erwartungsgemäß wurde eine hohe EMG-Aktivität des *M. frontalis* vor allem beim **Hochziehen der Augenbrauen (T24)**, beim **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)** und auch beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** registriert.

Die höchste EMG-Aktivität zeigte der *M. frontalis* beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)**. Bei dieser motorischen Bewegung werden nicht nur der *M. frontalis*, sondern auch Muskeln, die mit ihm verflochten sind, aktiviert. Zu diesen Muskeln zählen der *M. corrugator supercilii* und den *M. orbicularis oculi*. Durch diese Verflechtungen werden zusätzliche EMG-Signale über dem *M. frontalis* erfasst (Crosstalk), wodurch sich die hohe EMG-Aktivität des *M. frontalis* bei dieser motorischen Aufgabe erklären lässt (Abramo 1995, Isse und Elahi 2001),(Abramo 1995, Hwang et al. 2005, Knize 2000).

Beim **Hochziehen der Augenbrauen (T24)**, beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)**, beim **Blinzeln (T27)** und beim **einseitigen Schließen der Augen (T28 und T29)** bestehen Differenzen der EMG-Aktivität des *M. frontalis* zwischen den medialen und lateralen Elektrodenpositionen einer Gesichtsseite (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Bei allen der o.g. mimischen Bewegungen außer beim **Blinzeln (T27)** registrierte jeweils die lateral platzierte Elektrode über dem Muskel eine stärkere EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$; ANOVA, wiederholte Messungen,

laterale-mediale Orientierung: $p < 0,005$). Durch die erfassten EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen medialer und lateraler Elektrode des *M. frontalis* kann von einer fein abgestimmten intramuskulären Steuerung des Muskels ausgegangen werden.

Bereits 1967 konnten Sumitsuji et al. bei EMG-Untersuchungen der Gesichtsmuskulatur mit Nadelelektroden nachweisen, dass Aktivitätsunterschiede zwischen dem medialen und lateralen Anteil des *M. frontalis* bestehen (Sumitsuji et al. 1967). Damals zeigte sich bei einer gemischt weiblichen/männlichen Probandengruppe jedoch eine höhere Aktivierung des medialen Anteils des *M. frontalis*.

Des Weiteren bestand ein Seitenunterschied der EMG-Aktivität des *M. frontalis* während der mimischen Aufgabe **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** (ANOVA: $p < 0,05$). Die linke Gesichtsseite wies dabei eine höhere EMG-Aktivität auf. Vorrangegangene Studien, die EMG-Aktivitätsmuster bei emotionsbasierten mimischen Bewegungen registrierten, wiesen bereits auf Seitenunterschiede hin. Dabei zeigte in den geschlechter-gemischten Gruppen die Muskulatur der linken Gesichtsseite, in diesem Falle die Zygomaticus- und Corrugator-Muskelgruppe, eine höhere EMG-Aktivität (Zhou und Hu 2006, Dimberg und Petterson 2000). Gründe hierfür wurden in der Hemisphären-Theorie gesucht. Da die rechte Gehirnhälfte unsere Emotionen steuert, müssten somit emotionale Gesichtsausdrücke der linken Gesichtsseite stärker sein. Eine Studie von Fridlund zeigte jedoch, dass die linke Gehirnhälfte positive emotionale Bewegungen steuert, die dann entsprechend stärker auf der rechten Gesichtsseite dargestellt werden. Durch die rechte Gehirnhälfte werden die negativen Emotionen gesteuert, welche entsprechend intensiver auf der linken Gesichtsseite repräsentiert sind (Fridlund 1988). Jedoch wurden, wahrscheinlich auch aufgrund der widersprüchlichen Studienlage, verschiedenste Gründe aufgezählt, die diese Ergebnisvarianz erklären sollten. Es gibt viele periphere Faktoren, die die EMG-Registrierung im konkreten Fall beeinflussen können, so dass die Hemisphären-Theorie nur bedingt als Ursache des Seitenunterschiedes in Betracht gezogen werden sollte.

M. orbicularis oculi (E 5-12):

Die höchste EMG-Aktivität für den *M. orbicularis oculi* war aufgrund seiner Funktion als Augenschließmuskel bei den motorischen Aufgaben **kraftvolles Verschließen der Augenlider (T26), Blinzeln (T27) und kraftvolles Verschließen des rechten und linken Augenlides (T28 und T29)** zu erwarten. In der vorliegenden Studie konnte dies bestätigt werden. Intramuskuläre EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den Elektroden

des *M. orbicularis oculi* deuten, wie auch schon beim *M. frontalis* beschrieben, auf eine differenzierte Ansteuerbarkeit des Muskels hin.

In der multivariaten Varianzanalyse (ANOVA, wiederholte Messungen) der EMG-Aktivität des *M. orbicularis oculi* wurde ein Unterschied zwischen den medial und lateral gelegenen Elektroden für die **symmetrischen ausgeführten Aufgaben T24-T27** nachgewiesen (ANOVA: $p < 0,001$). Unterschiede im EMG-Aktivitätsniveau zeigten sich auch zwischen den medialen und lateralen Elektrodenmesspunkten über dem *M. orbicularis oculi* bei der einseitigen motorischen Aufgabe **kraftvolles Verschließen des rechten Augenlides (T28)** (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Beim **kraftvollen Verschließen des linken Augenlides (T29)** konnten dagegen keine EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den medialen und lateralen Elektroden nachgewiesen werden (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.). Nach Auswertung der Videoanalyse könnte eine Ursache hierfür in der unterschiedlichen Durchführung der motorischen Aufgaben (**T28 und T29**) der weiblichen Probanden liegen. Dabei wurde das **kraftvolle Verschließen des rechten Augenlides (T28)** mit der Note 1,75 und das **kraftvolle Verschließen des linken Augenlides (T29)** nur mit 1,94 bewertet.

Ein weiterer Grund für die unterschiedliche EMG-Aktivität zwischen medialer und lateraler Elektrodenorientierung kann aber auch in Crosstalk begründet sein. Wesentlichen Anteil an der Ausführung des **kraftvollen Verschließens der Augenlider (T26)**, des **Blinzelns (T27)** und des **kraftvollen Verschließens des rechten und linken Augenlides (T28 und T29)** haben neben dem *M. orbicularis oculi* auch der *M. depressor supercilli* und der *M. corrugator supercilii* (Knize 2000). Der *M. depressor supercilli* und der *M. corrugator supercilii* sind als eigenständige Muskeln zu betrachten (Daniel und Landon 1997) und verlaufen medial im Bereich der Orbita. Andere Autoren sehen den *M. depressor supercilii* jedoch als Teil des *M. orbicularis oculi* (Lemke und Stasior 1982) oder des *M. corrugator supercilii* (Zide und Jelks 1984). Es ist denkbar, dass ein Teil der EMG-Aktivität dieser Muskeln am medialen Elektrodenmesspunkt des *M. orbicularis oculi* zusätzlich registriert wurde, wodurch die höhere EMG-Aktivität erklärt wäre.

Im Weiteren bestanden Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen den superioren und inferioren Muskelanteilen des *M. orbicularis oculi* bei den Testaufgaben mit einer geringeren EMG-Aktivität, wie **Blinzeln (T27)** und **einseitigen kräftigen Verschließen des Auges (T28 und T29)** (ANOVA, superiore- inferiore Orientierung: $p < 0,001$; Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Keine Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen den superioren und inferioren Elektrodenpositionen wurden hingegen bei der Testaufgabe mit der

höchsten EMG-Aktivität **kraftvolles Verschließen der Augenlider (T26)** festgestellt (ANOVA, superiore- inferiore Orientierung: n.s.; Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.). Bereits in vorangegangenen EMG-Untersuchungen wurde die Ursache hierfür in der unterschiedlichen Kontraktionsintensität des *M. orbicularis oculi* bei der Durchführung der motorischen Aufgaben gesehen (Schumann et al. 2010). Aus Voruntersuchungen der männlichen Probandengruppe ist bekannt, dass relativ hohe Crosstalk-Verhältnisse bei selektiver Erregung des *M. orbicularis oculi* durch Koaktivität des *M. zygomaticus* und *Mm. levator labii sup. et alaeque nasi* erzielt wurden (Bongers 2011), wodurch EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den superioren und inferioren Elektrodenmesspunkten zu erklären sind. Dabei registrierten die inferioren Elektroden eine höhere EMG-Aktivität, da die beiden koaktivierenden Muskeln in den unteren Anteil des *M. orbicularis oculi* einziehen.

Mm. levator labii superioris et alaeque nasi (E 13-18):

Über den Elektroden des *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* wurde überwiegend EMG-Aktivität beim **Hochziehen der Oberlippe (T12)** und **beim Rümpfen der Nase (T21)** registriert. Das Heben der Oberlippe ist die Hauptaufgabe dieser Muskelgruppe (Schünke et al. 2009), was in dieser Studie bestätigt wurde. Auch vorherige Studien konnten beim Rümpfen der Nase eine hohe EMG-Aktivität der *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* verzeichnen (Lapatki et al. 2003, O'Dwyer et al. 1981, Vitti et al. 1974).

Beim **Rümpfen der Nase (T21)** und beim **Hochziehen der Oberlippe (T12)** zeigten sich zwischen den Elektroden des *Mm. levator labii superioris alaeque nasi* keine Unterschiede der registrierten EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.), jedoch zwischen den Elektroden des *M. levator labii superioris alaeque nasi* und *M. levator labii superioris* (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Dieses Ergebnis zeigt, dass es durch die OEMG-Untersuchung möglich ist, unterschiedliche EMG-Aktivitäten während einer mimischen Bewegung zwischen zwei so nah beieinander liegenden Muskeln herauszuarbeiten.

Mm. zygomatici major et minor (E19-24):

Beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** sowie bei den unilateral ausgeführten mimischen Aufgaben **einseitiges Hochziehen der Mundwinkel (T22 und T23)** und beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)**

waren hohe mittlere EMG-Amplituden des *Mm. zygomatici major et minor* zu verzeichnen.

Die vertikal angeordneten Elektroden über den *Mm. zygomatici major et minor* registrierten beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** und beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9, rechte Gesichtsseite)** keine Unterschiede der EMG-Aktivität (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.). Wohingegen bei den einseitig ausgeführten motorischen Aufgaben **Hochziehen des rechten/linken Mundwinkels (T22 und T23)** sowie beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9, linke Gesichtsseite)** Unterschiede zwischen den Elektroden in superiorer-inferiorer Orientierung registriert wurden (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Diese intramuskulären EMG-Aktivitätsunterschiede der *Mm. zygomatici major et minor* lassen sich auf eine sehr inter-individuelle und diffizile Muskelanatomie zurückführen. Die Anordnung und Insertion der Muskelfasern des *M. zygomaticus major* unterliegen einer großen inter-individuellen Variabilität. Die häufigste Variante setzt sich aus einem oberflächlichen Muskelband, welches in den *M. levator anguli oris* läuft und aus einem tieferen Anteil zusammen. Der tiefer gelegene Anteil zieht bis zum *M. buccinator*. Weitere anatomische Varianten des *Mm. zygomatici major et minor* teilen sich sogar in drei Komplexe auf, bzw. verlaufen direkt als ein Muskelband in die Tiefe zum *M. levator anguli oris* (Shim et al. 2008, Spiegel und DeRosa 2005). Eine eindeutige elektromyographische Ableitung des Muskels ist schwer möglich (Yoo et al. 2013), da es zu Überlagerungen mit anderen Muskeln kommt.

M. orbicularis oris pars superiores (E 25-28) et inferiores (E 29-32):

Der *M. orbicularis oris* ist ein Ringmuskel. Die Kontraktion seiner äußeren Anteile führt zum Spitzen der Lippen, sodass er umgangssprachlich auch Kussmuskel genannt wird. Des Weiteren sorgt seine Aktivierung für einen festen Mundschluss. Ebenso ist der *M. orbicularis oris* im Zusammenspiel mit dem Lippenhebern und –senkern der entscheidende Muskel zur Formung des Lächelns und somit an nahezu allen Mundbewegungen beteiligt.

Auch in der Sprachphysiologie spielt der Muskel eine wichtige Rolle. Bei der **Artikulation der Vokale A, Ä, E und I (T1-T4)** zeigte sich eine hohe mittlere EMG-Amplitude des inferioren Teils des *M. orbicularis oris* (superiore-inferiore Orientierung: Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Bei der **Artikulation der Vokale O und U (T5 und T6)** wurde eine gleichmäßige EMG-Aktivität des superioren und inferioren Anteils des Muskels

registriert (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.). Auch in der vorangegangenen EMG-Untersuchung der männlichen Probanden wurde dieses Ergebnis festgestellt (Schumann et al. 2010, Bongers 2011). Das EMG-Aktivitätsniveau bei der Artikulation von Vokalen war insgesamt niedrig.

Die größte mittlere EMG-Amplitude des *M. orbicularis oris* wurde beim **Spitzen der Lippen (T14)** registriert. Auch andere EMG-Untersuchungen erfassten eine hohe EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* beim Spitzen der Lippen (Cacou et al. 1996, Isley und Basmajian 1973, Schieppati et al. 1989).

Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen den medialen und lateralen Elektrodenpositionen des *M. orbicularis oris* bestanden beim **Aufeinanderpressen der Lippen (T7)**, **Herabziehen der Mundwinkel (T8)**, **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)**, **Herabziehen der Unterlippe (T10)**, **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)**, **Spitzen der Lippen (T14)**, **Aufblasen der Wangen (T15)**, **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)**, **Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte (T18)**, beim **lippengebremsten Ausatmen (T19)** und beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Von besonderer Bedeutung scheint die selektive Aktivierung des medialen und lateralen Anteils des Muskels bei den Aufgaben **Spitzen der Lippen (T14)**, **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)** und beim **lippengebremsten Ausatmen (T19)** zu sein. Erstmals konnten in der zuletzt mittels OEMG untersuchten männlichen Probandengruppe bei den zuvor genannten mimischen Bewegungen (**T14**, **T17** und **T19**) intramuskuläre EMG-Aktivitätsunterschiede (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$ in medialer-lateraler Elektrodenorientierung) gesehen werden. Dabei konnte bei den Testaufgaben (**T14**, **T17**, **T19**) immer über der lateral gelegenen Elektrode die größere EMG-Aktivität registriert werden (Bongers 2011). Die selektive Aktivierung des *M. orbicularis oris* wird möglicherweise durch die randständige Anordnung der motorischen Endplatten der Muskelfaser und der damit verbundenen clusterartigen Verteilung der motorischen Einheiten erreicht (Happak et al. 1997).

M. depressor anguli oris, *M. depressor labii inferioris*, *M. mentalis* (E33-44):

Der *M. depressor anguli oris* zieht den Mundwinkel nach unten, der *M. depressor labii inferioris* die Unterlippe. Die Aufgabe des *M. mentalis* ist es, die Weichteile des Kinns nach kranial zu schieben und den Lippenschluss zu unterstützen. Bei Kontraktion des *M. mentalis* entstehen die typischen Kinnfalten. Die o.g. Muskeln sind zwar aufgrund

genauesten anatomischen Kenntnisse und elektromyographischer Untersuchungen gut voneinander zu differenzieren (Lapatki et al. 2006), jedoch ist die separate Betrachtung aufgrund ihrer engen anatomisch-topographischen Lage und ihres ineinandergreifenden Muskelfaserverlaufs (Hur et al. 2014, Hur et al. 2013) nur schwer möglich. Nur nach mehrfachem Training sowie visuellem und verbalem Feedback konnten Probanden den *M. mentalis* und den *M. depressor labii inferioris* willkürlich isoliert ansteuern, sodass ausschließlich die EMG-Aktivität dieser Muskeln abgeleitet werden konnte (Folkens 1978a). Eine Separierung des *M. depressor anguli oris* nach EMG-Aktivität gelang jedoch nicht.

Entsprechend der Funktion des *M. mentalis*, *M. depressor labii inferioris* und *M. depressor anguli oris* wurde über diesen Muskeln bei den motorischen Aufgaben **Herabziehen der Mundwinkel (T8)**, **Herabziehen der Unterlippe (T10)**, **Vorschieben der Unterlippe (T11)**, **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)** und **maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** eine hohe EMG-Aktivität registriert.

Bei der **Artikulation der Vokale A, Ä, E, I (T1-T4)** wurde die höchste Muskelaktivität am *M. mentalis* und dem *M. depressor labii* registriert, wenn auch bei durchgehend sehr geringer EMG-Aktivität. Dieses Ergebnis bestätigten Untersuchungen, welche zeigten, dass beim alltäglichen Sprechen nur zwanzig Prozent der orofazialen Muskelkraft benötigt wird (Hinton und Arokiasamy 1997, Amerman 1993). Über den Elektroden des *M. depressor anguli oris* konnte bei der **Artikulation der Vokale A, Ä, E, I (T1-T4)** keine EMG-Aktivität nachgewiesen werden, was zeigt, dass er an der Artikulation dieser Vokale nicht beteiligt ist. Bei der Bildung der **Vokale O (T5)** und **U (T6)** wurde eine sehr geringe EMG-Aktivität des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und des *M. mentalis* registriert. Hieran ist überwiegend der *M. orbicularis oris* beteiligt.

Beim **Herabziehen der Mundwinkel (T8)**, beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** und beim **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)** wurde EMG-Aktivität des *M. depressor labii inferioris* registriert. Mittels Elektro-Stimulation konnte bereits nachgewiesen werden, dass dieser Muskel die Mundwinkel nach inferior-lateral zieht (Waller et al. 2006). Im Weiteren zeigte sich bei diesen Testaufgaben eine hohe EMG-Aktivität des *M. mentalis* und des inferioren Anteils des *M. orbicularis oris*. Diese kann durch die in den *M. orbicularis oris* vertikal einziehenden Muskelfasern des *M. depressor labii inferioris* erklärt werden (Blair 1986). Ähnliche EMG-Aktivitätsmuster beim Herabziehen der Mundwinkel konnten auch in anderen Untersuchungen

nachgewiesen werden (Lapatki et al. 2003). Der *M. mentalis* scheint als einziger Muskel, der die Unterlippe hebt, eine entgegengerichtete Wirkung zum *M. depressor labii inferioris* zu haben und den medianen Anteil der Unterlippe nach oben zu schieben, wobei der mimische Gesichtsausdruck des „Schmollens“ entsteht.

Der *M. depressor anguli oris* wies entsprechend seiner Funktion eine hohe EMG-Aktivität beim **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** und beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** auf. Die maximale EMG-Aktivität wurde im Bereich der inferioren Elektrodenpositionen des *M. depressor anguli oris* bei der Testaufgabe **maximales Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** erreicht. Außerdem ergab sich eine sehr hohe EMG-Aktivität für die superioren Elektrodenpositionen des *M. depressor anguli oris* beim **Vorschieben der Unterlippe (T11)**. Dabei unterstützt der *M. depressor anguli oris* den *M. mentalis*, indem er den äußeren Anteil der Unterlippe leicht herabzieht und stabilisiert. Der *M. mentalis* schiebt schließlich die Unterlippe nach vorne und evertiert sie. Ein ähnliches Prinzip tritt beim **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** auf. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren EMG-Untersuchungen überein (Folkins 1978b, Lapatki et al. 2003).

Der *M. mentalis* wurde bei fast allen Testaufgaben, bei der die untere orofaziale Region angesprochen wurde, aktiviert. Dies liegt an der Morphologie des Muskels. Der *M. mentalis* verwebt sich oberflächlich sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung mit dem *M. depressor labii inferioris* und dem inferioren Anteil des *M. orbicularis oris* (Lightoller 1926, Hur et al. 2013). Entsprechend der Funktion des *M. mentalis* die Unterlippe im medianen Anteil nach kranial zu schieben und somit das Abwärtsziehen an den Mundwinkeln zu erleichtern, konnte beim **Herabziehen der Unterlippe (T10)** die höchste mittlere EMG-Amplitude gemessen werden. Dabei führt der *M. mentalis*, wie oben bereits beschrieben, eine entgegengesetzte Bewegung zum *M. depressor anguli oris* aus. Besonders gut zu beobachten war diese Wirkungsweise beim **Kieferöffnen bei geschlossener Mundspalte (T18)**. Hierbei war der *M. mentalis* besonders aktiv und bewirkte ein Hochschieben der Unterlippe, um den Mundschluss zu gewährleisten (Nairn 1975, Lightoller 1928). In gleicher Weise war der *M. mentalis* beim **Vorschieben der Unterlippe (T11)**, **Hochziehen der Oberlippe und Herabziehen der Unterlippe (T13)** aktiv. Das enge Zusammenspiel der Muskeln der Unterkieferregion zeigte sich auch beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)**. Auch dabei wurde eine hohe EMG-Aktivität des *M. mentalis* nachgewiesen, wenngleich diese

Aufgabe nicht als typisches Aktivierungsmuster des Muskels gilt, übt er hierbei eine stabilisierende Funktion aus.

5.2 EMG-Aktivitätsmuster (-profile) der mimischen Muskulatur von jungen Frauen im Vergleich zu jungen Männern

M. frontalis (E 1-4):

Sowohl in der weiblichen als auch in der männlichen Probandengruppe wurde die höchste EMG-Aktivität des *M. frontalis* beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** registriert.

Der einzige EMG-Aktivitätsunterschied des *M. frontalis* zwischen Frauen und Männern war bei der motorischen Aufgabe **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** zu verzeichnen (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Bei den männlichen Probanden wurde eine höhere EMG-Aktivität bei allen motorischen Aufgaben registriert, an denen der *M. frontalis* beteiligt war. Es überrascht daher nicht, dass mittels multivariater Varianzanalyse für den Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ ein signifikanter Einfluss auf die EMG-Aktivität des *M. frontalis* nachzuweisen war (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: $p < 0,001$). Bereits Jensen und Fuglsang-Frederiksen zeigten, dass bei bipolaren OEMG-Messungen am *M. frontalis* signifikante Amplitudendifferenzen der EMG-Aktivität zwischen einer weiblichen und männlichen Probandengruppe bestehen. Dabei wurde ebenso eine höhere EMG-Aktivität bei den männlichen Probanden gemessen (Jensen und Fuglsang-Frederiksen 1994).

Ein größerer Krafteinsatz in der männlichen Probandengruppe mit einem annähernd linearen Anstieg der mittleren EMG-Amplitude ist als Ursache naheliegend.

Mayrovitz stellte zwar fest, dass bei Männern ein höheres Dielektrikum der Haut als bei Frauen vorliegt (Mayrovitz et al. 2012), womit eine höhere EMG-Aktivität in der männlichen Probandengruppe auch erklärt werden könnte. Ein Unterschied des Hautwiderstandes kommt als Ursache für die Amplitudendifferenzen zwischen Männern und Frauen aber nicht in Frage, da sich der Übergangswiderstand zwischen Haut und Elektrode aufgrund des hohen Eingangswiderstandes des OEMG-Vorverstärkers nur unwesentlich auf die Amplitudenhöhe der Summenaktionspotentiale auswirkt.

Eine dickere subkutane Fettschicht reduziert die Amplitude des registrierten OEMGs (Kuiken et al. 2003). Es wurde gezeigt, dass Frauen im Allgemeinen einen größeren subkutanen Fettanteil aufweisen (Durnin und Womersley 1974, Eisner et al. 2010). Jedoch

gibt es keine Studien über die genaue Fettverteilung im Gesichtsbereich, sodass auch dieser Grund als Ursache für die Amplitudendifferenz zwischen Frauen und Männern nur bedingt in Frage kommt.

Auch die Muskelgröße und die Verteilung der motorischen Einheiten könnten von Bedeutung sein. Im Bereich der Extremitätenmuskulatur wurde ein größerer Faserdurchmesser der männlichen Population nachgewiesen (Stalberg et al. 1989). Eine histo-chemische Charakterisierung der mimischen Muskulatur in Bezug auf den Faserdurchmesser erbrachte jedoch keine signifikanten Geschlechterunterschiede (Happak et al. 1988). Auch in Ultraschallschalluntersuchungen der mimischen Muskulatur konnten keine Unterschiede zwischen Frauen und Männern im Faserdurchmesser des *M. frontalis* gesehen werden (Volk et al. 2013).

Außerdem waren die EMG-Amplitudenwerte des *M. frontalis* insgesamt relativ klein. Als Maximalwert (Median) wurde eine mittlere EMG-Amplitude der weiblichen Probanden von 43 μV (Männer 63 μV) für die rechte und linke Gesichtsseite bei der Aufgabe **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** registriert. Die weibliche Probandengruppe wies eine Differenz der EMG-Aktivität beim **Hochziehen der Augenbrauen (T24)** des *M. frontalis* zwischen den symmetrisch medial gelegenen Elektroden (1 und 2) von lediglich 1 μV (Männer 3 μV) und zwischen den symmetrisch lateralen Elektroden (3 und 4) 9 μV (Männer 8 μV) auf.

Wahrscheinlich sind für die Unterschiede der registrierten EMG-Aktivität des *M. frontalis* zwischen Frauen und Männern lediglich ein größerer Krafteinsatz der männlichen Probanden und statistische Amplituden-Unterschiede, die auf sehr kleine EMG-Messwerte (μV) beruhen, verantwortlich. Dennoch sollten Summenaktionspotentiale von OEMG-Messungen des *M. frontalis* unterschiedlicher Geschlechter bei neurologisch gesunden Probanden nicht zusammengefasst werden.

M. orbicularis oculi (E 5-12):

Für **alle motorischen Aufgaben** wurden zwischen Frauen und Männern keine Unterschiede der EMG-Aktivität des *M. orbicularis oculi* festgestellt (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: n.s.).

Beim **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)** fand sich ein Unterschied der EMG-Aktivität (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) zwischen der weiblichen und männlichen Probandengruppe der superioren Elektrodenpositionen des *M. orbicularis oculi*. Die männliche Probandengruppe wies hierbei eine höhere EMG-Aktivität auf. Die

Testaufgabe **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)** ist somit nicht geeignet, um gemeinsame Referenzwerte des *M. orbicularis oculi* von neurologisch gesunden Frauen und Männern zu bilden.

Beim **Blinzeln (T27)** sowie beim **einseitigen kräftigen Verschließen des Auges (T28 und T29)** wurden sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Probanden Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen den superioren und inferioren Elektrodenpositionen (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$) nachgewiesen. In beiden Probandengruppen bestand eine höhere EMG-Aktivität des inferioren Anteils. Somit ist bei dieser motorischen Testaufgabe bei EMG-Vergleichsuntersuchungen des superioren und inferioren Anteils des *M. orbicularis oculi* keine Differenzierung zwischen Frauen und Männern notwendig.

Des Weiteren bestanden sowohl zwischen den medial und lateral gelegenen Elektrodenpositionen der jeweiligen Gesichtsseite Unterschiede im EMG-Aktivitätsniveau beim **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)**, beim **kraftvollen Verschließen der Augenlider (T26)** als auch beim **kraftvollen Verschließen des rechten Augenlides (T28)** (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

In der weiblichen Probandengruppe wurde beim **kraftvollen Verschließen des linken Augenlides (T29)** kein EMG-Aktivitätsunterschied zwischen den medial und lateral über dem des *M. orbicularis oculi* gelegenen Elektroden nachgewiesen (Wilcoxon-Test, zweiseitig: n.s.). Wohingegen beim **kraftvollen Verschließen des rechten Augenlides (T28)** Unterschiede der EMG-Aktivität bestanden (Wilcoxon-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). In der männlichen Probandengruppe zeigten sich sowohl beim **kraftvollen Verschließen des rechten Augenlides (T28)** als auch beim **kraftvollen Verschließen des linken Augenlides (T29)** Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen den medialen und lateralen Elektrodenpositionen.

Daraus ergibt sich, dass symmetrisch ausgeführte Aufgaben wie **Zusammenziehen der Augenbrauen (T25)** und **kraftvolles Verschließen der Augenlider (T26)** sowohl für weibliche als auch für männliche Probanden geeignet sind, um auf intramuskuläre EMG-Aktivitätsunterschiede des *M. orbicularis oculi* zu testen. Bei den einseitig durchgeführten Testaufgaben (**T28 und T29**), die den *M. orbicularis oculi* aktivieren, sollten Frauen und Männer getrennt betrachtet werden, um EMG-Referenzwerte zu erhalten.

Mm. levator labii superioris et alaeque nasi (E 13-18):

Die globale statistische Betrachtung aller motorischer Testaufgaben **T1-T21** zwischen Frauen und Männern erbrachte keinen Unterschied der EMG-Aktivität der *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* (ANOVA, Zwischensubjektfaktor Geschlecht: n.s.).

Zwischen der weiblichen und männlichen Probandengruppe wurde nur beim **Rümpfen der Nase (T21)**, einer motorischen Aufgabe bei der speziell der *Mm. levator labii superioris et alaeque nasi* aktiviert wird, unterschiedlich hohe EMG-Aktivität registriert (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Dabei zeigte die männliche Probandengruppe eine größere mittlere EMG-Aktivität. Die EMG-Aktivitätsprofile zwischen den beiden Probandengruppen sind beim **Rümpfen der Nase (T21)** jedoch sehr ähnlich.

Durch die Darstellung der EMG-Aktivitätsprofile lassen sich gleiche mimische Aufgaben unterschiedlicher Probanden gut miteinander vergleichen. Trotz der Ähnlichkeit der EMG-Aktivitätsprofile müssen aber auch die EMG-Aktivitätsniveaus miteinander verglichen werden.

In einer Ultraschalluntersuchung wurde ein Vergleich der Muskeldicke des *M. levator labii superioris* zwischen Frauen und Männern durchgeführt, wobei keine Unterschiede festgestellt wurden (McAlister et al. 1998). Daraus resultiert, dass auch hier die Muskeldicke keinen Einfluss auf die EMG-Aktivität hat.

Der Unterschied ließe sich möglicherweise durch eine größere Unsicherheit der weiblichen Probanden in der willkürlichen Ausführung der mimischen Bewegung und einer daraus resultierenden kraftärmeren Durchführung der Testaufgabe im Vergleich zur männlichen Probandengruppe erklären. Die Videoanalyse unterstützt diese Annahme. Die Reproduzierbarkeit dieser vermeintlich einfachen Testaufgabe **Rümpfen der Nase (T21)** lag in der weiblichen Probandengruppe mit der Note 2,29 (Durchschnitt: 1,76) im unterdurchschnittlichen Bereich.

Beim **Rümpfen der Nase (T21)** sollten somit EMG-Referenzwerte von Frauen und Männern getrennt betrachtet werden.

Mm. zygomatici major et minor (E19-24):

Bei anatomischen Untersuchungen an Kadavern zeigte sich, dass der *M. zygomaticus* bei Frauen ca. zwei Millimeter tiefer liegt als bei Männern (Spiegel und DeRosa 2005). Folglich würde man eine niedrigere EMG-Aktivität in der weiblichen Probandengruppe erwarten, da mit zunehmender Distanz der Elektrode zum Muskel das Amplitudensignal abnimmt (Zwarts et al. 2004).

Ultraschalluntersuchungen wiesen zudem nach, dass der *M. zygomaticus major* bei Frauen signifikant dicker ist (McAlister et al. 1998). Demnach würde man eine höhere EMG-Aktivität der weiblichen Probanden vermuten.

Bei den Testaufgaben **Hochziehen des rechten/linken Mundwinkels (T22 und T23)**, zwei motorische Aufgaben, bei der die *Mm. zygomatici major et minor* besonders aktiv sind, wurden jedoch keine Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen Frauen und Männern festgestellt (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: n.s.). Wie bereits bei der EMG-Untersuchung der männlichen Probanden gesehen, konnte auch in der weiblichen Probandengruppe ein EMG-Aktivitätsunterschied in superiorer zu inferiorer Elektrodenorientierung mittels multivariater Varianzanalyse (wiederholte Messungen) der Testaufgaben der **gesamten oralen Region** der *Mm. zygomatici major et minor* (ANOVA, superiore- inferiore Orientierung: $p < 0,001$) nachgewiesen werden (Bongers 2011). Der Zwischensubjektfaktor Geschlecht blieb ohne Einfluss auf die EMG-Aktivität (ANOVA; n.s.). Daher sind die Testaufgaben **Hochziehen des rechten/linken Mundwinkels (T22 und T23)** geeignet, um gemeinsame EMG-Referenzdaten von Frauen und Männern zu bilden.

Zusammenfassend scheint weder die Lage (Tiefe) des *Mm. zygomatici major et minor*, noch die Muskeldicke oder das Geschlecht einen wesentlichen Einfluss auf die EMG-Aktivität des *Mm. zygomatici major et minor* zu haben.

M. orbicularis oris pars superiores (E 25-28) et inferiores (E 29-32):

Die größte EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* wurde sowohl in der weiblichen als auch in der männlichen Probandengruppe beim **Spitzen der Lippen (T14)** registriert. Bereits bei zuvor durchgeführten EMG-Untersuchungen konnte eine hohe EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* bei dieser motorischen Aufgabe erfasst werden (Cacou et al. 1996, Isley und Basmajian 1973, Schieppati et al. 1989).

Beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)**, **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)**, beim **lippengebremsten Ausatmen (T19)** sowie beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** wurden EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen Frauen und Männern nachgewiesen (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Die EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* war beim **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)** und beim **maximalen Öffnen der Mundspalte bei geschlossenem Kiefer (T20)** in der weiblichen Probandengruppe größer als in der männlichen (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** bestand vor allem ein Unterschied zwischen den Probandengruppen im inferioren Bereich des Muskels (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Dabei wies auch hier die weibliche Probandengruppe eine höhere EMG-Aktivität auf. Auch die EMG-Aktivitätsprofile unterscheiden sich zwischen den Probandengruppen deutlich.

Das „Pfeifen“ sowie das Artikulieren des Vokals „O“ oder „U“ sind in ihrer Ausführung sehr ähnlich. Interessanterweise bestanden bei den Testaufgaben **Artikulation des Vokals O (T5)** und **U (T6)** keine geschlechterspezifischen Unterschiede der EMG-Aktivität, wohingegen beim **Pfeifen in konstanter Tonhöhe (T17)** in der weiblichen Probandengruppe die EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* höher war (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Pfeifen (labiales Pfeifen) ist keine mimische Bewegung, die wir täglich nutzen und die auch nicht von jedem Individuum gleichermaßen gut beherrscht wird. Die Fähigkeit des Pfeifens ist trainingsabhängig. Dem entsprechend wäre es denkbar, dass Frauen mehr „Training“ beim Pfeifen mit spitzen Lippen (oder ähnlichen Bewegungen) haben. Demnach würde man von einer optimierten Ausführung der mimischen Bewegung ausgehen, was wiederum zu einer geringeren Rekrutierung von motorischen Einheiten oder zu einer Reduzierung der Frequenz der Aktionspotentiale führt und folglich die gemessene EMG-Aktivität reduzieren würde. Naheliegender scheint es vielmehr, dass die weiblichen Probanden beim Pfeifen motivierter waren, wodurch es zu einer größeren mittleren EMG-Amplitude im Vergleich zu den männlichen Probanden kam. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kam auch eine Studie, welche die EMG-Aktivität des *M. orbicularis oris* bei Hörgeschädigten prüfte. Auch hierbei spielt die Motivation eine entscheidende Rolle. Hörgeschädigte verwenden zur Kommunikation bestimmte Vokale besonders deutlich und erreichten bei Aufgaben wie Saugen und Blasen durch einen Strohhalm, Lippen Spitzen und Aufeinanderpressen eine signifikant höhere EMG-Aktivität als Hörgesunde (Regalo et al. 2005).

Beim **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** und dem **lippengebrems-ten Ausatmen (T19)** war eine interindividuell einheitliche Ausführung der Testaufgaben für den Probanden nur schwer zu realisieren und für den Untersucher kaum zu bewerten. Die Videoaufzeichnungen der weiblichen Probanden zeigten bei den o.g. mimischen Bewegungen diesbezüglich keine Auffälligkeiten. Die Videoanalysen ergaben für diese motorischen Aufgaben ausschließlich gute Noten (Note 2,06 für **T9** und Note 1,83 für **T19**; Durchschnittswert aller motorischen Aufgaben Note 1,76).

Zusammenfassend konnte für mimische Bewegungen, bei welchen der *M. orbicularis oris* beteiligt ist, festgestellt werden, dass durch Training bzw. durch eine hohe oder geringe Motivation der Probanden unterschiedliche EMG-Aktivitätsprofile erfasst werden. Für den *M. orbicularis oris* bestanden bei allen Testaufgaben zwischen Frauen und Männern die größten EMG-Aktivitätsunterschiede.

M. depressor anguli oris, *M. depressor labii inferioris*, *M. mentalis* (E33-44):

Während der **Artikulation der Vokale A, Ä, E, I (T1-T4)** wurde die höchste mittlere EMG-Amplitude des *M. mentalis* und des *M. depressor labii* sowohl in der weiblichen als auch in der männlichen Probandengruppe erreicht. Der *M. depressor anguli oris* wies lediglich eine sehr geringe EMG-Aktivität auf und ist somit bei der Artikulation von Vokalen nicht wesentlich beteiligt. Sowohl in der weiblichen als auch in der männlichen Probandengruppe wurde nur eine geringe EMG-Aktivität des *M. depressor anguli oris*, *M. depressor labii inferioris* und des *M. mentalis* bei der Bildung der **Vokale O (T5)** und **U (T6)** registriert (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: n.s.). Wie bereits beschrieben war an der Bildung dieser Vokale überwiegend der *M. orbicularis oris* beteiligt.

Beim Herabziehen der Mundwinkel (T8) übertraf bei früheren EMG-Untersuchungen die EMG-Aktivität des *M. depressor labii inferioris* und des *M. depressor anguli oris* jeweils die EMG-Aktivität des *M. mentalis* (Isley und Basmajian 1973, Lapatki et al. 2003, O'Dwyer et al. 1981). Sowohl bei der hier durchgeführten OEMG-Untersuchung der weiblichen Probandengruppe als auch bei der zuvor untersuchten männlichen Probandengruppe konnte dieses Ergebnis nicht bestätigt werden (Schumann et al. 2010). Es fiel jedoch auf, dass diese motorische Testaufgabe den Probanden sichtlich schwerfiel. In der Videoauswertung der weiblichen Probandengruppe konnte gesehen werden, dass die motorische Aufgabe **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** von allen weiblichen Probandinnen im Mittel am schlechtesten ausgeführt wurde (Note: 3,17; Mittelwert aller motorischen Testaufgabe: 1,76). Die Testaufgabe **Herabziehen der Mundwinkel (T8)** ist somit nicht geeignet, um EMG-Referenzwerte der mimischen Muskulatur zu bilden.

Bei der mimischen Aufgabe **Hochziehen der Mundwinkel/imitiertes Lächeln (T9)** bei der vorrangig die *Mm. zygomaticii* und der *M. orbicularis oris* aktiv sind, kam es außerdem zu einer Ko-Aktivierung des *M. mentalis*. Dieses Ergebnis wurde zwar bereits bei der Untersuchung der männlichen Probandengruppe festgestellt, jedoch wurden in der weiblichen Probandengruppe deutliche höhere mittlere EMG-Amplituden über den Elektroden des *M. mentalis* gemessen (mittlere Differenz aller vier Elektroden: 42,5µV)

(Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Möglicherweise lächeln Frauen häufiger und stärker als Männer, sodass ein Trainingseffekt vorliegen könnte. Zumal auch der inferiore Anteil des *M. orbicularis oris*, der ebenso an dieser Bewegung beteiligt ist, eine höhere EMG-Aktivität in der weiblichen Probandengruppe bei dieser Testaufgabe aufwies (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$).

Zwischen der männlichen und weiblichen Probandengruppe konnte auch bei der motorischen Aufgabe **lippengebremstes Ausatmen (T19)** ein EMG-Aktivitätsunterschied des *M. depressor anguli oris* und des *M. depressor labii inferioris* nachgewiesen werden (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Die männliche Probandengruppe wies hierbei jeweils eine höhere EMG-Aktivität auf (Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig: $p < 0,05$). Dabei ist in diesem Fall anzunehmen, dass Männer beim **lippengebremsten Ausatmen (T19)** eine größere Kraft aufbringen und mehr motorische Einheiten rekrutieren. Die mittlere EMG-Amplitude nimmt annähernd linear mit der Kraft zu (Moritani und Muro 1987, Broman et al. 1985). Damit lässt sich auch die höhere EMG-Aktivität bei ähnlichem EMG-Aktivitätsmuster erklären.

Die Studie hat gezeigt, dass die EMG-Aktivitätsprofile von jungen Frauen und Männern sich nicht durchgehend gleichen, sie sich aber auch nicht durchgehend unterscheiden. Für jede anatomische Gesichtsregion wurden mimische Bewegungen gefunden, für die geschlechterspezifische EMG-Aktivitätsunterschiede festgestellt wurden, aber auch solche, für die keine Unterschiede nachgewiesen wurden, so dass nicht zwingend eine Unterscheidung der Referenzwertgruppen nach Geschlecht notwendig wird. Zudem sind zwischen gesunden Probanden und Patienten mit Fazialisparese deutlich größere EMG-Aktivitätsunterschiede zu erwarten, als sie in dieser Studie zwischen Frauen und Männern nachgewiesen wurden.

Insgesamt wäre eine getrennte Zusammenstellung weiblicher und männlicher Referenzwerte der statistisch bessere und zukunftsweisendere Weg. Da es jedoch mimische Aufgaben gibt, bei denen sich die EMG-Aktivität von Frauen und Männern nicht unterscheidet, kann bei diesen Aufgaben auch auf die Bildung separater Referenzwerte verzichtet werden.

6 Schlussfolgerung

Mit Hilfe eines kürzlich entwickelten Multikanal-Oberflächen-EMG-Verfahrens gelang es im Rahmen dieser Studie myoelektrische Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur bei einem jungen weiblichen Probandenkollektiv zu registrieren.

Ziel war es, die an jungen Frauen neu gewonnenen EMG-Daten mit den bereits vorliegenden Ergebnissen einer männlichen Probandengruppe zu vergleichen (Schumann et al. 2010, Bongers 2011), um zu prüfen, ob hinsichtlich der mittleren EMG-Amplitude und den EMG-Aktivitätsprofilen Unterschiede zwischen den Frauen und Männern vorliegen und um so zu ermitteln, ob für spätere Vergleiche z.B. mit Fazialisparese-Patienten für Frauen und Männern separate EMG-Referenzwerte zusammengestellt werden müssen oder das Geschlecht von untergeordneter Bedeutung ist.

Der Vergleich der EMG-Aktivitätsprofile zeigte, dass sich diese zwischen den weiblichen und männlichen Probanden sehr ähneln. Anhand der statistischen Analyse wurde jedoch bei 10 von 29 mimischen Testaufgaben ein EMG-Aktivitätsunterschied für einzelne Muskelgruppen zwischen Frauen und Männern nachgewiesen (Mann-Whitney-U-Test).

Die Ursache für die Unterschiede in der EMG-Aktivität der Fazialismuskulatur zwischen Frauen und Männern sind vielfältig. Überwiegend sind sie auf einer interindividuell unterschiedlichen Ausführung der mimischen Bewegung und auf einen individuell unterschiedlichen Krafteinsatz zurückzuführen. Dabei spielt sowohl die Motivation der Probanden als auch ein unbewusster Trainingseffekt, der möglicherweise bei einigen Aufgaben vorlag, eine Rolle.

Die Muskeldicke sowie Lage- und Verteilung der motorischen Einheiten hingegen scheinen keinen Einfluss auf die Unterschiede der EMG-Aktivität zwischen Frauen und Männern zu haben.

Crosstalk kann die Höhe der EMG-Aktivitätssignale beeinflussen, wirkt sich jedoch nicht auf die EMG-Aktivitätsunterschiede zwischen den Geschlechtern aus.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass EMG-Aktivitätsunterschiede der mimischen Muskeln zwischen Frauen und Männern existieren. Diese treten jedoch nicht bei jeder mimischen Bewegung und nicht bei jedem mimischen Muskel auf. Eine Unterscheidung der EMG-Aktivität zwischen Frauen und Männern ist somit nicht in jedem Fall notwendig. In Hinblick auf die Diagnostik und die Verlaufskontrolle von Patienten mit Fazialisparese ist für die mimischen Bewegungsaufgaben, bei denen für Frauen und Männern

unterschiedliche EMG-Aktivitäten der Fazialismuskulatur festgestellt wurden dringend eine separate Nutzung der EMG-Referenzwerte für Frauen und Männer zu empfehlen.

Literaturverzeichnis

- Abramo AC. 1995. Anatomy of the forehead muscles: the basis for the videoendoscopic approach in forehead rhytidoplasty. *Plast Reconstr Surg*, 95 (7):1170-1177.
- Amerman JD. 1993. A maximum-force-dependent protocol for assessing labial force control. *J Speech Hear Res*, 36 (3):460-465.
- Anders C, Brose G, Hofmann GO, Scholle HC. 2007. Gender specific activation patterns of trunk muscles during whole body tilt. *Eur J Appl Physiol*, 101 (2):195-205.
- Anders C, Bretschneider S, Bernsdorf A, Erler K, Schneider W. 2004. Activation of shoulder muscles in healthy men and women under isometric conditions. *J Electromyogr Kinesiol*, 14 (6):699-707.
- Aquilonius SM, Askmark H, Gillberg PG, Nandedkar S, Olsson Y, Stalberg E. 1984. Topographical localization of motor endplates in cryosections of whole human muscles. *Muscle Nerve*, 7 (4):287-293.
- Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J. 2007. *Duale Reihe Anatomie*. Georg Thieme Verlag.
- Basmajian JV. 1962. Muscles alive. Their functions revealed by electromyography. *Academic Medicine*, 37 (8):802.
- Blair C. 1986. Interdigitating muscle fibers throughout orbicularis oris inferior: preliminary observations. *J Speech Hear Res*, 29 (2):266-269.
- Bongers K. 2011. Die Erfassung komplexer myoelektrischer Aktivitätsmuster der mimischen Muskulatur beim Menschen zur Kennzeichnung aufgabenbezogener muskulärer Koordinationsprozesse.
- Bour LJ, Aramideh M, de Visser BW. 2000. Neurophysiological aspects of eye and eyelid movements during blinking in humans. *J Neurophysiol*, 83 (1):166-176.
- Bradbury ET, Simons W, Sanders R. 2006. Psychological and social factors in reconstructive surgery for hemi-facial palsy. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 59 (3):272-278.
- Broman H, Bilotto G, De Luca CJ. 1985. Myoelectric signal conduction velocity and spectral parameters: influence of force and time. *Journal of applied physiology*, 58 (5):1428-1437.
- Cacou C, Greenfield BE, Hunt NP, McGrouther DA. 1996. Patterns of coordinated lower facial muscle function and their importance in facial reanimation. *Br J Plast Surg*, 49 (5):274-280.
- Cocito D, De Mattei M. 1992. Inadequacy of transcranial magnetic stimulation in the neurophysiologic assessment of Bell's palsy. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 32 (10-11):521-530.
- Cohen Y, Lavie O, Granovsky-Grisaru S, Aboulafia Y, Diamant YZ. 2000. Bell palsy complicating pregnancy: a review. *Obstet Gynecol Surv*, 55 (3):184-188.
- Daniel RK, Landon B. 1997. Endoscopic forehead lift: anatomic basis. *Aesthet Surg J*, 17 (2):97-104.
- Davis JF. 1952. *Manual of surface electromyography*. Montreal: Laboratory for Psychological Studies, Allan Memorial Institut of Psychiatry.
- De Diego-Sastre JI, Prim-Espada MP, Fernandez-Garcia F. 2005. [The epidemiology of Bell's palsy]. *Rev Neurol*, 41 (5):287-290.
- Dimberg U, Petterson M. 2000. Facial reactions to happy and angry facial expressions: evidence for right hemisphere dominance. *Psychophysiology*, 37 (5):693-696.

- Durnin JV, Womersley J. 1974. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr*, 32 (1):77-97.
- Eisner BH, Zargooshi J, Berger AD, Cooperberg MR, Doyle SM, Sheth S, Stoller ML. 2010. Gender differences in subcutaneous and perirenal fat distribution. *Surg Radiol Anat*, 32 (9):879-882.
- Esteban A. 1999. A neurophysiological approach to brainstem reflexes. Blink reflex. *Neurophysiol Clin*, 29 (1):7-38.
- Farahvash MR, Abianeh SH, Farahvash B, Farahvash Y, Yagoobi A, Nazparvar B. 2010. Anatomic variations of midfacial muscles and nasolabial crease: a survey on 52 hemifacial dissections in fresh Persian cadavers. *Aesthet Surg J*, 30 (1):17-21.
- Farina D, Merletti R, Enoka RM. 2004. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *Journal of applied physiology*, 96 (4):1486-1495.
- Fattah A, Gurusinghe A, Gavilan J, Hadlock T, Marcus J, Marres H, Nduka C, Slattery W, Snyder-Warwik A. 2014. Facial Nerve Grading Instruments: Systematic Review of the Literature and Suggestion for Uniformity. *Plast Reconstr Surg*.
- Finkelstein G. 2000. The ascent of man? Emil du Bois-Reymond's reflections on scientific progress. *Endeavour*, 24 (3):129-132.
- Finkensieper M, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2012. [Facial nerve disorders]. *Laryngorhinootologie*, 91 (2):121-141; quiz 142.
- Finsterer J. 2002. Klinische Anwendungen der Einzelfaser-Elektromyographie. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 3 (3):12-20.
- Folkins JW. 1978a. Lower lip displacement during voluntary activation of individual labial muscles in man. *Arch Oral Biol*, 23 (3):189-193.
- Folkins JW. 1978b. Lower lip displacement during in-vivo stimulation of human labial muscles. *Arch Oral Biol*, 23 (3):195-207.
- Freilinger G, Happak W, Burggasser G, Gruber H. 1990. Histochemical mapping and fiber size analysis of mimic muscles. *Plast Reconstr Surg*, 86 (3):422-428.
- Fridlund AJ. 1988. What can asymmetry and laterality in EMG tell us about the face and brain? *Int J Neurosci*, 39 (1-2):53-69.
- Fridlund AJ, Cacioppo JT. 1986. Guidelines for human electromyographic research. *Psychophysiology*, 23 (5):567-589.
- Fu L, Bundy C, Sadiq SA. 2011. Psychological distress in people with disfigurement from facial palsy. *Eye (Lond)*, 25 (10):1322-1326.
- Gilden DH. 2004. Clinical practice. Bell's Palsy. *N Engl J Med*, 351 (13):1323-1331.
- Grosheva M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. 2008. Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy. *Laryngoscope*, 118 (3):394-397.
- Happak W, Burggasser G, Gruber H. 1988. Histochemical characteristics of human mimic muscles. *J Neurol Sci*, 83 (1):25-35.
- Happak W, Liu J, Burggasser G, Flowers A, Gruber H, Freilinger G. 1997. Human facial muscles: dimensions, motor endplate distribution, and presence of muscle fibers with multiple motor endplates. *Anat Rec*, 249 (2):276-284.
- Hauser WA, Karnes WE, Annis J, Kurland LT. 1971. Incidence and prognosis of Bell's palsy in the population of Rochester, Minnesota. *Mayo Clin Proc*, 46 (4):258-264.
- Hilsinger RL, Jr., Adour KK, Doty HE. 1975. Idiopathic facial paralysis, pregnancy, and the menstrual cycle. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 84 (4 Pt 1):433-442.
- Hinton VA, Arokiasamy WM. 1997. Maximum interlabial pressures in normal speakers. *J Speech Lang Hear Res*, 40 (2):400-404.
- Holland NJ, Weiner GM. 2004. Recent developments in Bell's palsy. *BMJ*, 329 (7465):553-557.

- Hur MS, Kim HJ, Lee KS. 2014. An anatomic study of the medial fibers of depressor anguli oris muscle passing deep to the depressor labii inferioris muscle. *J Craniofac Surg*, 25 (2):614-616.
- Hur MS, Kim HJ, Choi BY, Hu KS, Lee KS. 2013. Morphology of the mentalis muscle and its relationship with the orbicularis oris and incisivus labii inferioris muscles. *J Craniofac Surg*, 24 (2):602-604.
- Huxley H, Hanson J. 1943. Changes in the cross-striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. *Acta Physiol Scand*, 6:123.
- Hwang K, Kim DJ, Hwang SH. 2005. Insertion of frontalis muscle relating to blepharoptosis repair. *J Craniofac Surg*, 16 (6):965-967.
- Isley CL, Jr., Basmajian JV. 1973. Electromyography of the human cheeks and lips. *Anat Rec*, 176 (2):143-147.
- Isse NG, Elahi MM. 2001. The corrugator supercilii muscle revisited. *Aesthet Surg J*, 21 (3):209-215.
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. 2000. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol* (1985), 89 (1):81-88.
- Jensen R, Fuglsang-Frederiksen A. 1994. Quantitative surface EMG of pericranial muscles. Relation to age and sex in a general population. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 93 (3):175-183.
- Jones MT, Jagim AR, Haff GG, Carr PJ, Martin J, Oliver JM. 2016. Greater Strength Drives Difference in Power between Sexes in the Conventional Deadlift Exercise. *Sports (Basel)*, 4 (3).
- Jungehülsing M, Guntinas-Lichius O, Stennert E. 2001. Rehabilitation der anhaltenden Fazialislähmung Teil 1. *HNO*, 49 (5):418-427.
- Kazamel M, Warren PP. 2017. History of electromyography and nerve conduction studies: A tribute to the founding fathers. *J Clin Neurosci*, 43:54-60.
- Kiese-Himmel C, Laskawi R, Wrede S. 1993. [Psychosocial problems and coping with illness by patients with defective healing after facial paralysis]. *HNO*, 41 (5):261-267.
- Knize DM. 2000. Muscles that act on glabellar skin: a closer look. *Plast Reconstr Surg*, 105 (1):350-361.
- Kuiken TA, Lowery MM, Stoykov NS. 2003. The effect of subcutaneous fat on myoelectric signal amplitude and cross-talk. *Prosthet Orthot Int*, 27 (1):48-54.
- Lapatki B, Jonas I. 2001. Periorale Oberflächen-Elektromyographie: Besonderheiten, Limitationen, neue Methoden und ihre Anwendung in der Musikphysiologie. 4. Arbeitstagung, Motodiagnostik-Mototherapie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 20 (21.07).
- Lapatki BG, Stegeman DF, Jonas IE. 2003. A surface EMG electrode for the simultaneous observation of multiple facial muscles. *J Neurosci Methods*, 123 (2):117-128.
- Lapatki BG, Oostenveld R, Van Dijk JP, Jonas IE, Zwarts MJ, Stegeman DF. 2006. Topographical characteristics of motor units of the lower facial musculature revealed by means of high-density surface EMG. *J Neurophysiol*, 95 (1):342-354.
- Lapatki BG, Oostenveld R, Van Dijk JP, Jonas IE, Zwarts MJ, Stegeman DF. 2010. Optimal placement of bipolar surface EMG electrodes in the face based on single motor unit analysis. *Psychophysiology*, 47 (2):299-314.
- Laranne J, Rimpilainen I, Karma P, Eskola H, Hakkinen V, Laippala P. 1995. A comparison of transcranial magnetic stimulation with electroneuronography as a predictive test in patients with Bell's palsy. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 252 (6):344-347.

- Latham RA, Deaton TG. 1976. The structural basis of the philtrum and the contour of the vermilion border: a study of the musculature of the upper lip. *J Anat*, 121 (Pt 1):151-160.
- Lee ST. 1988. A histological study of the philtrum. *Ann Acad Med Singapore*, 17 (3):328-334.
- Lemke BN, Stasior OG. 1982. The anatomy of eyebrow ptosis. *Arch Ophthalmol*, 100 (6):981-986.
- Liddell EGT, Sherrington C. 1929. *Mammalian physiology*. Oxford At The Clarendon Press Humphrey Milford; London.
- Lightoller GS. 1926. The Facial Musculature of the Australian Aboriginal: Part I. *J Anat*, 61 (Pt 1):14-39.
- Lightoller GS. 1928. The Action of the M. mentalis in the Expression of the Emotion of Distress. *J Anat*, 62 (Pt 3):319-332.
- Marson AG, Salinas R. 2000. Bell's palsy. *West J Med*, 173 (4):266-268.
- Martyn CN, Hughes RA. 1997. Epidemiology of peripheral neuropathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 62 (4):310-318.
- Mayer RF. 2001. The motor unit and electromyography--the legacy of Derek Denny-Brown. *J Neurol Sci*, 189 (1-2):7-11.
- Mayrovitz HN, Bernal M, Carson S. 2012. Gender differences in facial skin dielectric constant measured at 300 MHz. *Skin Res Technol*, 18 (4):504-510.
- McAlister RW, Harkness EM, Nicoll JJ. 1998. An ultrasound investigation of the lip levator musculature. *Eur J Orthod*, 20 (6):713-720.
- Miller AE, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Sale DG. 1993. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 66 (3):254-262.
- Morales DR, Donnan PT, Daly F, Van Staa T, Sullivan FM. 2013. Impact of clinical trial findings on Bell's palsy management in general practice in the UK 2001–2012: interrupted time series regression analysis. *BMJ open*, 3 (7):e003121.
- Moritani T, Muro M. 1987. Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56 (3):260-265.
- Nadeau S, Bilodeau M, Delisle A, Chmielewski W, Arsenault AB, Gravel D. 1993. The influence of the type of contraction on the masseter muscle EMG power spectrum. *J Electromyogr Kinesiol*, 3 (4):205-213.
- Nairn RI. 1975. The circumoral musculature: structure and function. *Br Dent J*, 138 (2):49-56.
- Nowak DA, Linder S, Topka H. 2005. Diagnostic relevance of transcranial magnetic and electric stimulation of the facial nerve in the management of facial palsy. *Clinical neurophysiology*, 116 (9):2051-2057.
- O'Dwyer NJ, Quinn PT, Guitar BE, Andrews G, Neilson PD. 1981. Procedures for verification of electrode placement in EMG studies of orofacial and mandibular muscles. *J Speech Hear Res*, 24 (2):273-288.
- Peitersen E. 2002. Bell's palsy: the spontaneous course of 2,500 peripheral facial nerve palsies of different etiologies. *Acta Otolaryngol Suppl*, (549):4-30.
- Pessa JE, Zadoo VP, Garza PA, Adrian EK, Jr., Dewitt AI, Garza JR. 1998a. Double or bifid zygomaticus major muscle: anatomy, incidence, and clinical correlation. *Clin Anat*, 11 (5):310-313.
- Pessa JE, Zadoo VP, Adrian EK, Jr., Yuan CH, Aydelotte J, Garza JR. 1998b. Variability of the midfacial muscles: analysis of 50 hemifacial cadaver dissections. *Plast Reconstr Surg*, 102 (6):1888-1893.

- Purves D, Augustine G, Fitzpatrick D, Katz L, LaMantia A, McNamara J, Williams W, Neuroscience V. 2001. Sunderland (MA). Neuroscience.
- Radlanski RJ, Wesker K. 2012. Das Gesicht: Bildatlas klinische Anatomie. Quintessenz-Verlag.
- Regalo SC, Vitti M, Moraes MT, Semprini M, de Felicio CM, de Mattos Mda G, Hallak JE, Santos CM. 2005. Electromyographic analysis of the orbicularis oris muscle in oralized deaf individuals. *Braz Dent J*, 16 (3):237-242.
- Schieppati M, Di Francesco G, Nardone A. 1989. Patterns of activity of perioral facial muscles during mastication in man. *Exp Brain Res*, 77 (1):103-112.
- Scholle HC, Schumann NP, Anders C, Mey E. 1992. [Quantitative topographic characterization of the myoelectric activity distribution of the masseter muscle: mapping of spectral EMG parameters]. *EEG EMG Z Elektroenzephalogr Elektromyogr Verwandte Geb*, 23 (3):115-120.
- Schumann NP, Scholle HC, Anders C, Mey E. 1994. A topographical analysis of spectral electromyographic data of the human masseter muscle under different functional conditions in healthy subjects. *Arch Oral Biol*, 39 (5):369-377.
- Schumann NP, Bongers K, Guntinas-Lichius O, Scholle HC. 2010. Facial muscle activation patterns in healthy male humans: a multi-channel surface EMG study. *J Neurosci Methods*, 187 (1):120-128.
- Schumann NP, Biedermann FH, Kleine BU, Stegeman DF, Roeleveld K, Hackert R, Scholle H. 2002. Multi-channel EMG of the M. triceps brachii in rats during treadmill locomotion. *Clin Neurophysiol*, 113 (7):1142-1151.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. 2009. Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie. Stuttgart: Thieme.
- Shim KS, Hu KS, Kwak HH, Youn KH, Koh KS, Fontaine C, Kim HJ. 2008. An anatomical study of the insertion of the zygomaticus major muscle in humans focused on the muscle arrangement at the corner of the mouth. *Plast Reconstr Surg*, 121 (2):466-473; discussion 474.
- Shinohara H, Kominami R, Yasutaka S, Taniguchi Y. 2001. The anatomy of the lacrimal portion of the orbicularis oculi muscle (tensor tarsi or Horner's muscle). *Okajimas Folia Anat Jpn*, 77 (6):225-232.
- Sittel C, Stennert E. 2001. Prognostic value of electromyography in acute peripheral facial nerve palsy. *Otol Neurotol*, 22 (1):100-104.
- Sittel C, Guntinas-Lichius O, Streppel M, Stennert E. 1998. Variability of repeated facial nerve electroneurography in healthy subjects. *Laryngoscope*, 108 (8 Pt 1):1177-1180.
- Spiegel C, Steinberg P, Schumann NP, Guntinas-Lichius O, Scholle HC 2012. Reproducibility of surface EMG patterns of the facial muscle.
- Spiegel JH, DeRosa J. 2005. The anatomical relationship between the orbicularis oculi muscle and the levator labii superioris and zygomaticus muscle complexes. *Plast Reconstr Surg*, 116 (7):1937-1942; discussion 1943-1934.
- Stalberg E, Borges O, Ericsson M, Essen-Gustavsson B, Fawcett PR, Nordesjo LO, Nordgren B, Uhlin R. 1989. The quadriceps femoris muscle in 20-70-year-old subjects: relationship between knee extension torque, electrophysiological parameters, and muscle fiber characteristics. *Muscle Nerve*, 12 (5):382-389.
- Sumitsuji N, Matsumoto K, Tanaka M, Kashiwagi T, Kaneko Z. 1967. Electromyographic investigation of the facial muscles. *Electromyography*, 7 (2):77-96.
- Teller DC, Murphy TP. 1992. Bilateral facial paralysis: a case presentation and literature review. *J Otolaryngol*, 21 (1):44-47.

- van Boxtel A. 2001. Optimal signal bandwidth for the recording of surface EMG activity of facial, jaw, oral, and neck muscles. *Psychophysiology*, 38 (1):22-34.
- Vitti M, Fortinguerra CR, Correa AC, König B, Jr., Berzin F. 1974. Electromyographic behavior of the levator labii superioris alaeque nasi. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 14 (1):37-43.
- Volk GF, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. 2014a. 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study. *BMC Ear Nose Throat Disord*, 14:4.
- Volk GF, Karamyan I, Klingner CM, Reichenbach JR, Guntinas-Lichius O. 2014b. Quantitative magnetic resonance imaging volumetry of facial muscles in healthy patients with facial palsy. *Plast Reconstr Surg Glob Open*, 2 (6):e173.
- Volk GF, Wystub N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. 2013. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve*, 47 (6):878-883.
- Waller BM, Vick SJ, Parr LA, Bard KA, Pasqualini MC, Gothard KM, Fuglevand AJ. 2006. Intramuscular electrical stimulation of facial muscles in humans and chimpanzees: Duchenne revisited and extended. *Emotion*, 6 (3):367-382.
- Williamson DA, Epstein LH, Lombardo TW. 1980. Methodology: EMG measurement as a function of electrode placement and level of EMG. *Psychophysiology*, 17 (3):279-282.
- Yoo SH, Kwon HK, Lee SH, Lee SJ, Ha KW, Yun HS. 2013. Diagnosis of zygomaticus muscle paralysis using needle electromyography with ultrasonography. *Ann Rehabil Med*, 37 (3):433-437.
- Yu SK, Lee MH, Kim HS, Park JT, Kim HJ. 2013. Histomorphologic approach for the modiolus with reference to reconstructive and aesthetic surgery. *J Craniofac Surg*, 24 (4):1414-1417.
- Zhang KQ. 1990. Gross anatomy and microstructure of the orbicularis muscle and philtral contour. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 25 (6):353-355, 383.
- Zhou R, Hu S. 2006. Study of posed emotion in facial EMG asymmetry. *Percept Mot Skills*, 102 (2):430-434.
- Zide BM, Jelks GW. 1984. Surgical anatomy of the orbit. *Plast Reconstr Surg*, 74 (2):301-305.
- Zwarts MJ, Stegeman DF. 2003. Multichannel surface EMG: basic aspects and clinical utility. *Muscle Nerve*, 28 (1):1-17.
- Zwarts MJ, Lapatki BG, Kleine BU, Stegeman DF. 2004. Surface EMG: how far can you go? *Supplements to Clinical neurophysiology*. Elsevier, 111-119.

Anhang

Danksagung

Ich möchte mich ausdrücklich bei Herrn PD Dr. med. N.P. Schumann für die umfassende wissenschaftliche Betreuung und Beratung bedanken. Außerdem geht ein Dank an Frau E. Mey für die Unterstützung bei der Untersuchungsdurchführung.

Danken möchte ich auch den 29 Probandinnen, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zuletzt möchte ich meinen Eltern und meinen Freunden für ihre große Unterstützung danken, dabei insbesondere meiner Frau Anna.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist.

Ich habe die Dissertation selbst angefertigt und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen sind in meiner Arbeit angegeben.

Mich hat Herr PD Dr. med. N.P. Schumann bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt.

Die Hilfe eines Promotionsberaters wurde nicht in Anspruch genommen.

Es wurden weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir gezahlt, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Dissertation wurde noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht und ich habe auch nicht die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht.

Philipp Steinberg